



TESIS - TE142599

PENENTUAN TINGKAT KONSENTRASI GAS MENGUNAKAN METODE INTERFEROMETRI OPTIK

MARZUARAMAN
NRP. 2214204014

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

PENENTUAN TINGKAT KONSENTRASI GAS MENGUNAKAN METODE INTERFEROMETRI OPTIK

MARZUARMAN
NRP. 2214204014

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Marzuarman
NRP. 2214204014

Tanggal Ujian : 04 Januari 2017
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh:

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
NIP: 19690426 199403 1 003

(Pembimbing I)

2. Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.
NIP: 19700212 199512 1 001

(Pembimbing II)

3. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.
NIP: 19651211 199002 1 002

(Penguji)

4. Achmad Arifin, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP: 19710314 199702 1 001

(Penguji)

5. Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.
NIP: 19810118 200312 1 003

(Penguji)

an. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng.
NIP. 19611021 198603 1 001



Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**PENENTUAN TINGKAT KONSENTRASI GAS MENGGUNAKAN METODE INTERFEROMETRI OPTIK**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Januari 2017

Marzuarman

NRP. 2214204014

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENENTUAN TINGKAT KONSENTRASI GAS MENGUNAKAN METODE INTERFEROMETRI OPTIK

Nama mahasiswa : Marzuarman
NRP : 2214204014
Pembimbing : Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Co-Pembimbing : Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.

ABSTRAK

Gas merupakan suatu unsur di udara yang sangat berperan penting dalam kehidupan manusia. Gas dapat bermanfaat dan dapat membahayakan pada tingkat konsentrasi tertentu. Pada saat ini telah banyak dikembangkan metode dalam pengukuran konsentrasi gas, salah satunya menggunakan metode interferometri optik. Interferometer mampu memberikan tingkat akurasi tinggi dalam bidang instrumen dan tahan terhadap interferensi elektromagnetik pada saat pengukuran. Pengukuran konsentrasi gas dengan interferometer merupakan suatu pengembangan terbaru di bidang *optical sensor*. Pada Penelitian ini digunakan interferometer Michelson untuk mendeteksi konsentrasi gas, dengan melihat pergeseran pola interferensi dari suatu konsentrasi gas atau uap pelarut organik. Interferensi yang dihasilkan terjadi akibat beda lintasan optis yang mengakibatkan beda fase antara dua gelombang. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua jenis polimer yaitu PVP (*Polyvinylpyrrolidone*) K-90 dan PVA (*Polyvinyl alcohol*), ini bertujuan untuk membandingkan sensitivitas masing-masing polimer. Polimer dilapisi pada substrat kaca transparan kemudian ditempelkan pada chamber. Dengan mengamati pergeseran interferensi yang terjadi, kemudian pergeseran pola yang akan didapat digunakan untuk menggambarkan karakter suatu gas dan menerapkannya pada *software* berbasis *image processing* untuk mendeteksi konsentrasi gas. Konsentrasi gas yang terukur terjadi akibat perubahan ketebalan dan indeks bias pada polimer yang menyebabkan terjadinya pergeseran pola interferensi. Hasil percobaan menunjukkan pengukuran amonia pada konsentrasi 305.087 ppm dengan persentase *error* terkecil 31%, alkohol pada konsentrasi 130.854 ppm dengan persentase *error* terkecil 109%, dan bensin pada konsentrasi 78.255 ppm dengan persentase *error* terkecil 20%.

Kata kunci : indeks bias, *image processing*, interferensi, interferometer Michelson, konsentrasi gas, polimer

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETERMINATION OF LEVEL CONCENTRATION OF GASES USING OPTICAL INTERFEROMETRY METHOD

By : Marzuarman
Student Identity Number : 2214204014
Supervisor(s) : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
2. Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.

ABSTRACT

Gas is a vital element in supporting human needs, found in the air. It can be useful and can be dangerous in certain concentration. Nowadays, we can find many development to measure gas concentration, one of method to be adopted is optical interferometric. Interferometer qualified to provide high accuracy in instrumentation, and can stands even in electromagnetic interference while in use for measuring. Measuring gas concentration with interferometer is a new development in optical sensor. In this theses, Michelson interferometer used to detect gas concentration, done with watching the interference pattern deviation of a gas concentration of an organic solvent steam. This interference occurs as an implication of the optical track differences, which cause a phase differences between two waves. In measuring, two different polymer used: PVP (*Polyvinylpyrrolidone*) K-90 and PVA (*Polyvinyl alcohol*), this to compare each polymer sensitivity. the polymer coated on a transparent glass, then stucked to a chamber. The interference's scrapes observed, it used to specify a gas character, and to be applied in an image processing based software, to detect the gas concentration. The gas concentration measurement based on the changes of refraction index, and the polymer thickness, which cause the scrap of interference's pattern. The result that had been taken, shows the measurement for amonia in its concentration of 305.087 ppm with minimal error 31%, alkohol at 130.854 ppm with minimum error 109%, and gasoline at 78.255 ppm with minimum error 20%.

Keywords: gas concentration, image processing, interference, Michelson interferometer, refractive index, the polymer

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya lah tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul **“Penentuan Tingkat Konsentrasi Gas Menggunakan Metode Interferometri Optik”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dan Koordinator Bidang Keahlian Teknik Elektronika – Jurusan Teknik Elektro, yang telah banyak memberikan saran, bantuan, serta sabar dalam membimbing penulis.
2. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas saran, bantuan, dan pengertiannya dalam membimbing penulis.
3. Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. selaku Koordinator Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik elektro – FTI – ITS dan selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
4. Bapak Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
5. Bapak Ronny Mardiyanto S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji Ujian Sidang Tesis atas saran dan masukannya.
6. Pimpinan dan civitas akademika Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS.
7. Ibu dan Ayah tercinta serta kakak dan adik, atas segala dukungan dan doanya hingga terselesaikannya tesis ini.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Surabaya, 13 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Deteksi Gas Menggunakan Integrated Optical Mach-Zehnder Interferometer (IO-MZ)	5
2.2 Deteksi Uap Pelarut Organik Menggunakan <i>Interferometric Sensor</i>	7
2.3 Pengukuran Perubahan Indeks Bias Gas Alam Cair (Butana) Menggunakan Interferometer Michelson.....	9
2.4 Menentukan Indeks Bias Cairan Menggunakan Interferometer Michelson	11
2.5 Diagram Fishbone	13
2.6 Interferometer Michelson.....	14
2.6.1 Interferensi Cahaya	17
2.6.2 Pengukuran Ketebalan Lapisan Tipis dengan Interferensi	18
2.6.3 <i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> (Laser) ..	20
2.6.4 <i>Beam Splitter</i>	21
2.6.5 Cermin (<i>Mirror</i>).....	22
2.7 Indeks Bias	23
2.8 Konsentrasi Gas atau Pelarut Organik	23

2.8.1	Amonia	24
2.8.2	Alkohol	24
2.8.3	Benzena	24
2.9	Polimer.....	25
2.10	Pengaruh <i>Swelling</i> Pada Polimer Terhadap Perubahan Indeks Bias	25
2.11	Hubungan Antara Indeks Bias, Tekanan dan Suhu Pada Gas	27
2.12	Kontrol Propotional Integral Derivative (PID).....	28
2.13	Pengolahan Citra (<i>Image Processing</i>)	30
2.13.1	Grayscale	31
2.13.2	Filter Rata-Rata (<i>Mean Filter</i>).....	32
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1	Diagram Blok Sistem.....	35
3.2	Sampel Gas	37
3.3	Sistem Pemanas	37
3.3.1	Kontrol PID	37
3.3.2	Sensor Suhu	39
3.3.3	Driver Pemanas.....	39
3.3.4	Dudukan Pemanas	40
3.3.5	Kontrol Suhu dengan Arduino Nano	41
3.4	Sensing.....	41
3.4.1	Silica Gel	43
3.4.2	Pompa Udara	43
3.5	Interferometer	44
3.6	<i>Grayscale</i>	45
3.7	<i>Filter Average</i>	47
3.8	Nilai <i>Average</i> Maksimum.....	48
3.9	Menghitung Pergeseran Fase	49
3.10	Regresi Linier	51
3.11	Desain <i>User Interface</i>	52
3.12	Prosedur Pengambilan Data.....	53
BAB 4	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	55
4.1	Pengujian Hasil Pola Frinji Interferometer.....	55

4.1.1	Tujuan pengujian	55
4.1.2	Prosedur Pengujian	55
4.1.3	Hasil dan Analisa Pengujian	56
4.2	Kalibrasi Pergeseran Fase	60
4.2.1	Tujuan Kalibrasi Pergeseran Fase	60
4.2.2	Prosedur Kalibrasi	60
4.2.3	Hasil dan Analisa	61
4.3	Pengujian Kontrol Suhu	62
4.3.1	Tujuan Pengujian Kontrol Suhu	62
4.3.2	Prosedur Pengujian	62
4.3.3	Hasil Pengujian dan Analisa	63
4.4	Pengujian Perhitungan Pergeseran Fase Interferensi dengan <i>Software</i> ..	65
4.4.1	Tujuan Pengujian	65
4.4.2	Prosedur Pengujian	65
4.4.3	Hasil Pengujian dan Analisa	66
4.5	Pengujian Interferometer Sensor Terhadap Perubahan Konsentrasi Gas	67
4.5.1	Tujuan Pengujian	67
4.5.2	Prosedur Pengujian	67
4.5.3	Hasil Pengujian dan Analisa Data	67
4.6	Pengujian Interferometer Terhadap Perubahan Suhu	72
4.6.1	Tujuan Pengujian	72
4.6.2	Prosedur Pengujian	72
4.6.3	Hasil Pengujian dan Analisa Data	72
4.7	Pengujian Perbandingan Sensitivitas Masing-masing Polimer Terhadap Perubahan Konsentrasi Gas	76
4.7.1	Tujuan	76
4.7.2	Proses Pengujian	76
4.7.3	Hasil Pengujian	76
4.8	Perhitungan Regresi Linier untuk Mengukur Konsentrasi Gas	79
4.8.1	Tujuan Perhitungan Regresi Linier	79
4.8.2	Prosedur Perhitungan Regresi Linier	79

4.8.3	Hasil dan Analisa.....	79
4.9	Pengujian dan Kalibrasi Konsentrasi Gas	80
4.9.1	Tujuan pengujian	80
4.9.2	Prosedur pengujian	80
4.9.3	Hasil Pengujian dan Analisa Data	80
4.10	Pengujian <i>Error</i>	81
4.11	Keterbatasan Penelitian	83
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1	Kesimpulan.....	85
5.2	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA.....		87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Integrated Optical Mach-Zehnder Interferometer</i> Menggunakan Lapisan Polimer (Fabricius dkk, 1992).	6
Gambar 2.2 Grafik Perubahan Sinyal Terhadap Indeks Bias (Fabricius dkk, 1992).	6
Gambar 2.3 Grafik Kalibrasi Uap <i>Perchloroethylene</i> (Fabricius dkk, 1992).	7
Gambar 2.4 Setup Percobaan <i>Intreferometric</i> Pohl untuk Mendeteksi Uap Organik (Hipatl dkk, 2010).	8
Gambar 2.5 Prinsip Kerja Sensor (Hipatl dkk, 2010).	8
Gambar 2.6 Grafik Hubungan Antara Jenis Gas dengan (a). Pola Respon Sensor (b). Tingkat Sensitivitas Sensor (Hipatl dkk, 2010).	9
Gambar 2.7 Diagram Skematik Pengukuran Indeks Bias Gas Butana (Richard dkk, 2014).	10
Gambar 2.8 Grafik Perubahan Indeks Bias Gas Butana Terhadap Perubahan Tekanan (Richard dkk, 2014).	10
Gambar 2.9 Susunan Diagram Skematik Eksperimen (Kachiraju dkk, 2012).	12
Gambar 2.10 Grafik Perubahan Indeks Bias Gula Terhadap Perubahan Konsentrasi (Kachiraju dkk, 2012).	12
Gambar 2.11 Diagram <i>Fishbone</i> Penelitian.	13
Gambar 2.12 Diagram Skematik Interferometer Michelson (Al-Azzawi, 2006).	15
Gambar 2.13 Jenis-jenis Interferensi (a). Interferensi Konstruktif (b). Interferensi Destruktif.	15
Gambar 2.14 Interferensi Michelson.	16
Gambar 2.15 kondisi Interferensi Cahaya.	18
Gambar 2.16 Pengukuran Lapisan Tipis Menggunakan Interferometer (Pedrotti, 1987).	18
Gambar 2.17 Skema Pergeseran Garis Interferensi Pada Garis Batas Lapisan (Film) (Pedrotti, 1987).	19
Gambar 2.18 Prinsip Kerja Dioda Laser.	20
Gambar 2.19 Jenis- jenis pembagi sinar (a) <i>Beam Splitter</i> Kubus (b) <i>Beam Splitter</i> Cermin Setengah Perak (c) <i>Beam Splitter</i> Cermin <i>Dichroic</i> .	21

Gambar 2.20 Pembentukan Bayangan oleh Cermin Datar.....	22
Gambar 2.21 Proses <i>Swelling</i> pada Polimer.....	26
Gambar 2.22 Diagram Blok Kontrol PID.....	29
Gambar 2.23 Hubungan dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran dengan Masukan untuk Pengontrol PID.....	30
Gambar 2.24 Nilai Warna RGB dalam Heksadesimal.	30
Gambar 2.25 Skala Keabuan.	32
Gambar 2.26 Window Mask 3x3 untuk Filter Rata-Rata.....	33
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras.	35
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Perangkat Lunak.	36
Gambar 3.3 Blok Diagram Kontrol Suhu dengan Kontrol PID	38
Gambar 3.4 Sensor Suhu LM35.	39
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Driver</i> Pemanas.	40
Gambar 3.6 Dudukan chamber Tempat diletakkan Kawat Pemanas.	40
Gambar 3.7 Integrasi Pengontrol Suhu.....	41
Gambar 3.8 Substrat Kaca Terlapis Polimer.	42
Gambar 3.9 (a). Chamber Sampel Secara Keseluruhan (b). Chamber Sampel Tampak dari Samping.....	42
Gambar 3.10 Wadah Silica Gel.	43
Gambar 3.11 Pompa Udara	44
Gambar 3.12 (a). Dudukan Laser (b). Dudukan Beam Splitter (c). Dudukan Cermin (d). Dudukan Lensa Konvergen (e). Tampilan (f). Hasil Pola Interferensi.....	45
Gambar 3.13 Ilustrasi RGB.	46
Gambar 3.14 Blok Diagram Konversi RGB ke <i>Grayscale</i>	46
Gambar 3.15 Pengaturan Koordinat Indeks y.....	47
Gambar 3.16 Nilai <i>Grayscale</i> pada Garis Indeks y.	47
Gambar 3.17 Blok Diagram Proses Filter <i>Average</i>	48
Gambar 3.18 Diagram Alir Mencari Nilai Puncak Rata-rata.	48
Gambar 3.19 Ilustrasi Mendapatkan Koordinat <i>i</i> Nilai <i>Average</i> Maksimum.....	49
Gambar 3.20 Kalibrasi Titik 0 Pengukuran.....	49
Gambar 3.21 Diagram Alir Menghitung Pergeseran Fase.	50

Gambar 3.22 Blok Diagram Pengukuran Konsentrasi Gas.....	51
Gambar 3.23 Desain Interface Pengukuran Konsentrasi Gas.	53
Gambar 4.1 Proses Pengukuran Jarak dan Pergeseran Frinji.	56
Gambar 4.2 Pengamatan Pergeseran Frinji (a). Sebelum Terjadi Pergeseran (b). Setelah Terjadi Pergeseran.....	56
Gambar 4.3 Perangkat Keras Untuk Kalibrasi Pergeseran Fase.	60
Gambar 4.4 Grafik Kalibrasi Pergeseran Fase.....	61
Gambar 4.5 Skema Pengujian Kontrol Suhu.	62
Gambar 4.6 Skema Pengujian Sensor LM35.	63
Gambar 4.7 Grafik respon suhu (a). Set Point 35°C (b). Set Point 45°C (c). Set Point 55°C.....	64
Gambar 4.8 Prosedur Akses Kamera pada Aplikasi.	65
Gambar 4.9 Pola Interferensi yang Terekam Kamera.	65
Gambar 4.10 Grafik Pengamatan Pergeseran Menggunakan Software (a). Intensitas pada Garis Horizontal (b). Perhitungan Pergeseran fase.	66
Gambar 4.11 Hasil Pengukuran Pergeseran Fase pada Sampel Alkohol (a). Menggunakan <i>Software</i> (b). Secara Manual.	68
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Pergeseran Fase pada Sampel Bensin (a). Menggunakan <i>Software</i> (b). Secara Manual.	70
Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Pergeseran Fase pada Sampel Amonia (a). Menggunakan <i>Software</i> (b). Secara Manual.	71
Gambar 4.14 Hasil Pengukuran Pergeseran Fase pada Variasi Suhu Tanpa Gas (a). Menggunakan <i>Software</i> (b). Secara Manual.	73
Gambar 4.15 Normalisasi Rata-rata Pergeseran Frinji Terhadap Perubahan Suhu Tanpa Gas.....	74
Gambar 4.16 Respon Pergeseran Fase Terhadap Perubahan Suhu Pada Sampel Amonia.....	75
Gambar 4.17 Normalisasi Rata-rata Pergeseran Frinji Terhadap Perubahan Suhu Pada Amonia.	75
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Sensitifitas Sensor Pada Masing-Masing Sampel Gas.....	77

Gambar 4.19 Diagram Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor terhadap Perubahan Suhu (a). Pada Polimer PVP K-90 (b). Pada Polimer PVA.....	78
Gambar 4.20 Grafik Hasil Pengujian Error (a). Pengujian dengan Getaran Ketukan (b). Pengujian dengan Getaran Pompa	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Pengukuran Indeks Bias Beberapa Sampel Cairan.	11
Tabel 2.2 Jenis-jenis Bahan Polimer.....	26
Tabel 2.3 Derajat Keabuan (<i>Grayscale</i>).	32
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Interferometer dengan Ketebalan Medium Pengujian Berbeda.	57
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kepresisian Sudut Interferometer.....	58
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Pada Sampel Alkohol	69
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Pada Sampel Bensin.	70
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Pada Sampel Amonia.	72
Tabel 4.6 Regresi Linier Konsentrasi Gas Sebagai Fungsi Pergeseran Fase.....	79
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Konsentrasi.....	80

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas merupakan suatu fase benda dalam ikatan molekul yang sangat renggang pada suhu tertentu, biasanya terjadi pada titik uap suatu zat dan mempunyai kemampuan untuk mengalir dan dapat berubah bentuk. Gas mempunyai peran penting bagi manusia dan perkembangan makhluk hidup, namun ada beberapa jenis gas atau uap pelarut organik yang dapat merusak lingkungan dan berbahaya pada manusia jika terkontaminasi ataupun terhirup.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kadar konsentrasi gas amonia (NH_3), karena amonia termasuk gas beracun, berbau tajam serta mudah menguap. NH_3 umumnya banyak digunakan pada bidang industri, seperti bahan campuran pembuatan pupuk urea, bahan obat-obatan, dan bahan pembuatan detergen. Efek buruk NH_3 bagi kesehatan dapat menyebabkan badan lesu, pusing, muntah, koma, dan dapat merusak paru-paru, bahkan mampu menyebabkan kematian jika terkontaminasi pada konsentrasi tinggi (Maranda dkk, 2007). Pada lingkungan sehari-hari gas NH_3 dapat merugikan, seperti menyebabkan eutrofikasi sistem perairan, terjadinya pengasaman tanah, hilangnya keanekaragaman hayati, dan berkontribusi terhadap pemanasan global (Changwen dkk, 2015). Oleh karena itu, diperlukan suatu sensor yang dapat mendeteksi dan memonitoring konsentrasi gas tersebut, selain itu nanti akan digunakan jenis gas lain seperti bensin dan alkohol.

Saat ini telah banyak dikembangkan metode untuk mendeteksi gas, diantaranya adalah dengan menggunakan semikonduktor metal oksida dan *Surface Acoustic Wave* (SAW). Sensor semikonduktor metal oksida dengan teknologi *thick film* digunakan untuk mengukur konsentrasi gas nitrogen dioksida (NO_2) (Widodo, 2014), dan didapatkan hasil sensor sensitif terhadap perubahan konsentrasi hingga 10 ppm, namun untuk pengaktifannya harus membutuhkan pemanas dengan suhu mencapai 350°C dan konsumsi daya sensor juga lebih besar hingga 12,5 watt, selain itu sensor juga mudah terpengaruh interferensi medan listrik, karena sensor bekerja menggunakan arus listrik. Sensor *Surface Acoustic Wave* (SAW) digunakan

mendeteksi uap kimia dan untuk membedakan jenis-jenis uap (Mulyadi dan Rivai, 2011), berdasarkan hasil pengukuran tanggapan sensor berbanding linier dengan konsentrasi uap yang diujikan, namun respon sensor mulai tidak stabil pada suhu di atas 35°C.

Sebagai suatu pengembangan sensor dibidang optik, metode interferometri optik memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki sensitifitas tinggi, respon cepat, konsumsi daya rendah, stabil pada suhu panas, dan tahan terhadap interferensi medan listrik maupun medan magnet (Hall dkk, 2005). Prinsip kerja sensor berdasarkan banyaknya pergeseran pola interferensi atau pola frinji yang dihasilkan terhadap perubahan konsentrasi (Kachiraju dkk, 2012). Interferometri optik terdiri dari beberapa jenis, yang umumnya digunakan adalah interferometer Mach-Zehnder, interferometer Michelson, interferometer Fabry-Perot, interferometer Twymen Green dan lain sebagainya. Namun pada penelitian ini digunakan interferometer Michelson sebagai alat untuk mengukur konsentrasi gas, karena pola interferensi yang terbentuk pada interferometer Michelson lebih tajam, lebih jelas dan jarak antar frinjinnya lebih sempit dibanding interferometer yang lain (Halliday dan Resnick, 1999).

Penelitian ini dilakukan menggunakan chamber sampel yang divariasikan berdasarkan banyaknya jenis polimer yang digunakan, ini bertujuan untuk membandingkan tingkat sensitivitas sensor terhadap gas. Pergeseran pola interferensi terjadi akibat perubahan ketebalan polimer karena pembengkakan (*swelling*) ketika berinteraksi dengan gas. Perubahan pola interferensi disebabkan oleh perbedaan lintasan optis antara sinar yang melewati gas atau polimer dengan sinar yang melewati cermin referensi. Pergeseran pola yang mengindikasikan pergeseran titik-titik ekstrim, yang dapat menunjukkan perbedaan beda lintasan optis (Apsari dkk, 2008). Semakin tebal pembengkakan polimer mengakibatkan lintasan optis laser akan semakin panjang dan jarak pola semakin banyak dan sempit. Hal inilah yang mendasari dilakukan penelitian ini.

Konsentrasi gas pada wadah berpengaruh pada suhu, sehingga menyebabkan pola interferensi juga akan berubah, oleh karena itu sensor dikarakterisasi untuk membandingkan perubahan konsentrasi dengan perubahan suhu untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat. Selain itu interferometer diharapkan

juga mampu memberikan tingkat sensitivitas yang sangat tinggi, karena menggunakan *image processing* sebagai metode akuisisi data untuk mengukur konsentrasi gas. Sehingga dapat dikembangkan suatu sensor uap atau gas yang efektif, efisien dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi serta dapat digunakan dalam waktu jangka panjang.

1.2 Perumusan Masalah

Secara umum perumusan masalah pada penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh pergeseran frinji pada interferometer terhadap perubahan ketebalan polimer akibat *swelling*. Sehingga dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi gas. Adapun permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat interferometer Michelson yang dapat menentukan konsentrasi gas.
2. Bagaimana pengaruh perubahan konsentrasi gas terhadap pergeseran pola interferensi pada jenis gas dan polimer berbeda.
3. Bagaimana pengaruh perubahan suhu terhadap pergeseran pola interferensi dengan polimer dan jenis gas berbeda.
4. Bagaimana menerapkan *image processing* sebagai penghitung pergeseran dan jarak pola interferensi.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil pengukuran konsentrasi gas menggunakan interferometer berdasarkan prinsip perambatan cahaya melalui suatu medium yang memiliki indeks bias dan ketebalan tertentu, medium tersebut berupa molekul gas yang menempel pada polimer yang mengisi chamber sampel. Secara terperinci tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu membuat interferometer Michelson yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi gas.
2. Mengetahui pengaruh perubahan konsentrasi gas terhadap pergeseran pola interferensi dengan jenis gas dan polimer berbeda.

3. Mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap pergeseran pola interferensi dengan polimer dan jenis gas berbeda.
4. Mengetahui cara menghitung jumlah pergeseran dan jarak pola interferensi dengan *image processing*.

Dari hasil penelitian ini akan diperoleh manfaat antara lain untuk memperoleh data hasil interferensi yang dihasilkan oleh interferometer Michelson pada proses pengukuran konsentrasi gas. Dari penelitian ini juga dapat dikembangkan suatu sensor optik yang dapat mendeteksi gas atau uap dari pelarut organik.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang kajian pustaka dan dasar teori yang digunakan pada penelitian ini. Untuk menentukan konsentrasi gas menggunakan interferometer Michelson ada beberapa konsep dasar yang akan dibahas, berikut adalah teori pendukung dari penelitian tersebut.

2.1 Deteksi Gas Menggunakan Integrated Optical Mach-Zehnder Interferometer (IO-MZ)

Sistem ini merupakan miniatur dari interferometer yang direalisasikan pada *integrated optic* dalam bentuk *chip* (Fabricius dkk, 1992). Pada penelitian ini membahas pengukuran konsentrasi gas menggunakan *Integrated Optical Mach-Zehnder Interferometer*, adapun bentuk dari IO-MZ tersebut terlihat pada Gambar 2.1. Pada salah satu sisi dari IO-MZ ditutupi oleh lapisan *polysiloxane* atau lapisan polimer yang berfungsi sebagai media melekatnya molekul gas. Indeks bias polimer akan berubah bergantung besarnya konsentrasi gas yang melekat pada polimer, hal inilah yang mendasari bahwa cahaya yang melewati polimer berubah bergantung indeks biasnya. Ketika intensitas cahaya ditransmisikan pada *input* IO-MZ, cahaya akan terbagi dua pada masing-masing sisi dan intensitas cahaya pada sisi yang dilapisi polimer akan berbeda dibandingkan pada sisi yang tidak dilapisi polimer ketika diberikan konsentrasi gas, maka akan menghasilkan interferensi dan pergeseran fase pada kedua intensitas cahaya ketika digabungkan kembali, hal ini dapat dijelaskan pada Persamaan 2.1,

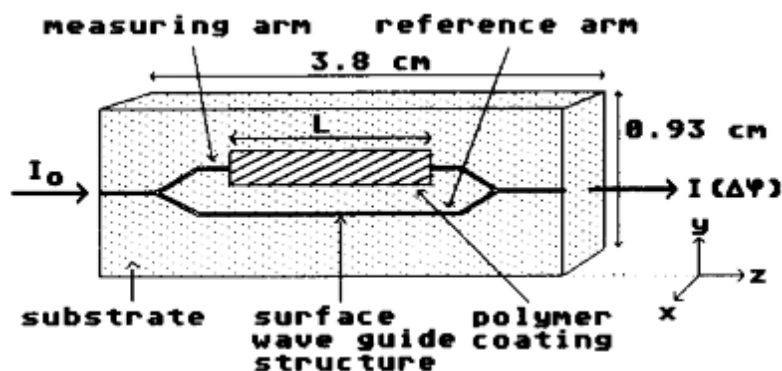
$$\frac{I_0}{I(\Delta\varphi)} = \frac{1}{2}(1 + \cos(\Delta\varphi)) \quad (2.1)$$

dengan I_0 adalah intensitas sumber dan $\Delta\varphi$ adalah pergeseran fase, pergeseran fase ditentukan dengan Persamaan 2.2,

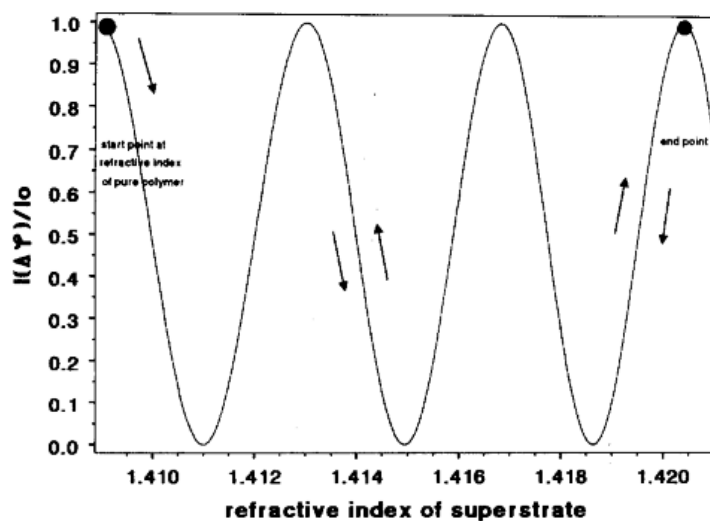
$$\Delta\varphi = \Delta n_{eff} \cdot k_0 \cdot L \quad (2.2)$$

dengan K_0 adalah vektor gelombang, L adalah panjang polimer, dan n_{eff} adalah fungsi substrat. Jika dihitung menggunakan persamaan Maxwell maka transmisi cahaya pada struktur tersebut dapat diterapkan. Pada Gambar 2.2 menunjukkan ketergantungan intensitas sinyal pada perubahan indeks bias *superstrate* untuk panjang gelombang 788 nm dan lebar 1,5 cm. Pergeseran sinyal sangat sensitif terhadap perubahan kecil pada indeks bias (Fabricius dkk, 1992).

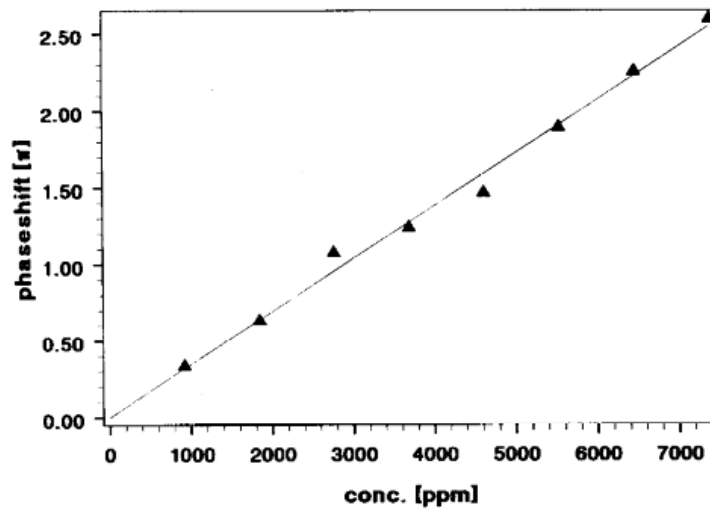
Dengan menggunakan uap *perchloroethylene* 1000 ppm hingga 7500 ppm, maka perbandingan konsentrasi uap dengan pergeseran fase dapat ditentukan, seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.1 *Integrated Optical Mach-Zehnder Interferometer* Menggunakan Lapisan Polimer (Fabricius dkk, 1992).



Gambar 2.2 Grafik Perubahan Sinyal Terhadap Indeks Bias (Fabricius dkk, 1992).



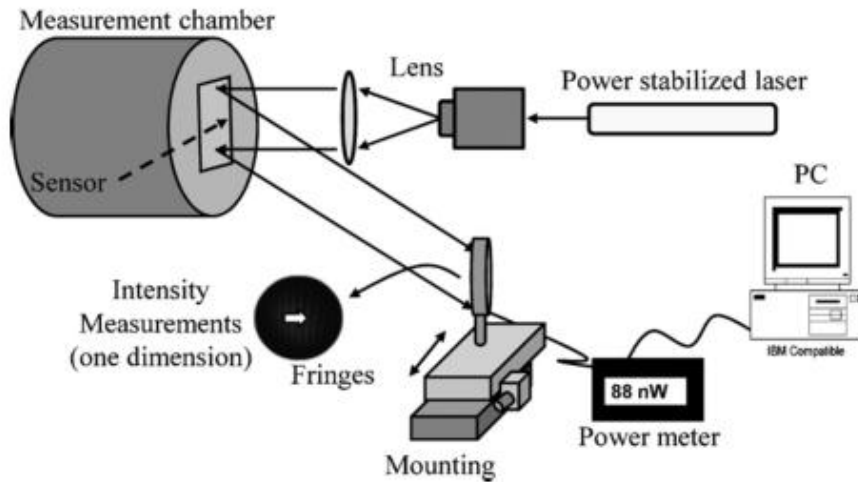
Gambar 2.3 Grafik Kalibrasi Uap *Perchloroethylene* (Fabricius dkk, 1992).

2.2 Deteksi Uap Pelarut Organik Menggunakan *Interferometric Sensor*

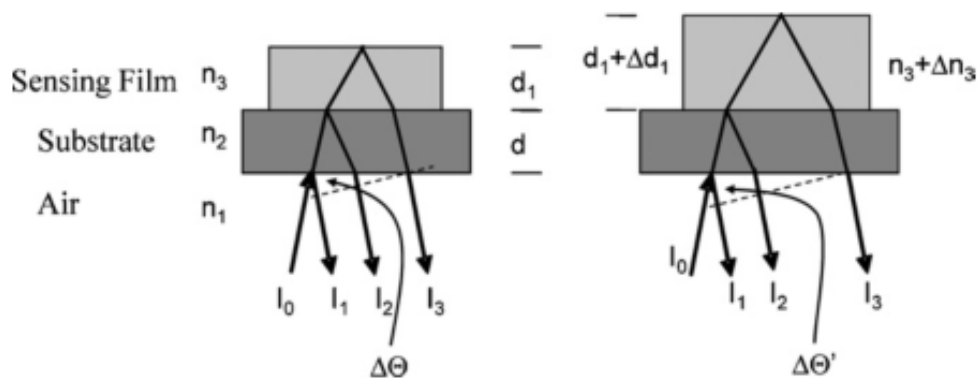
Penelitian ini merupakan pengembangan sensor gas yang mampu mendeteksi *Volatile Organic Compounds* (VOCs) atau sering disebut uap dari pelarut organik. Percobaan dilakukan dengan melapisi polimer jenis *polydimethylsiloxane* (PDMS) berbentuk film tipis dengan cara mengendapkan pada substrat kaca. PDMS memiliki sifat *swelling* dan terjadi perubahan indeks bias ketika berinteraksi dengan VOC, hal ini menyebabkan pergeseran fase gelombang cahaya dalam susunan *interferometric* Pohl (Hipatl dkk, 2010). Sensor *interferometric* Pohl berbasis *zeo-lite sensor film* diletakkan pada ujung sebuah serat optik. Adapun gambar *setup* pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 2.4.

Sensor akan berinteraksi dengan molekul uap yang menyebabkan perubahan indeks bias PDMS karena *swelling*. PDMS mengalami pembengkakan sehingga mengubah sudut pembiasan cahaya yang melewati sensor (terlihat pada Gambar 2.5), sehingga jarak interferensi menjadi semakin lebar akibat sudut pembiasan semakin besar dan intensitasnya diukur menggunakan detektor. Pada penelitian ini digunakan propanol sebagai sampel dengan variasi konsentrasi yang berbeda-beda, kemudian dari hasil percobaan sensor mengalami saturasi pada konsentrasi 1500 ppm. Selain itu juga digunakan sampel uap organik dengan jenis lain, seperti metanol, *ethanol*, *methyl acetate*, *propyl acetate*, *heptane*, dan *octane* yang masing-masing memiliki indeks bias dan titik penguapan yang berbeda-beda. Pada Gambar

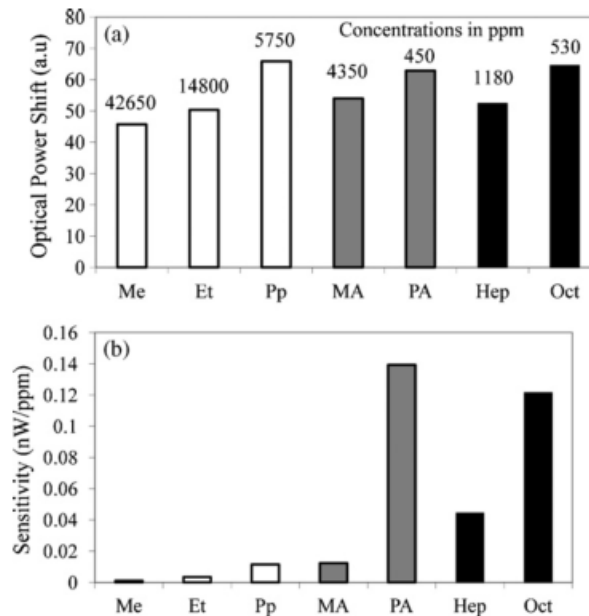
2.6 memperlihatkan hasil respon tingkat kesensitivitasan sensor terhadap ketebalan penyerapan molekul gas pada *film sensing* dengan konsentrasi tertentu menggunakan *interferometric* Pohl.



Gambar 2.4 Setup Percobaan *Intreferometric* Pohl untuk Mendeteksi Uap Organik (Hipatl dkk, 2010).



Gambar 2.5 Prinsip Kerja Sensor (Hipatl dkk, 2010).



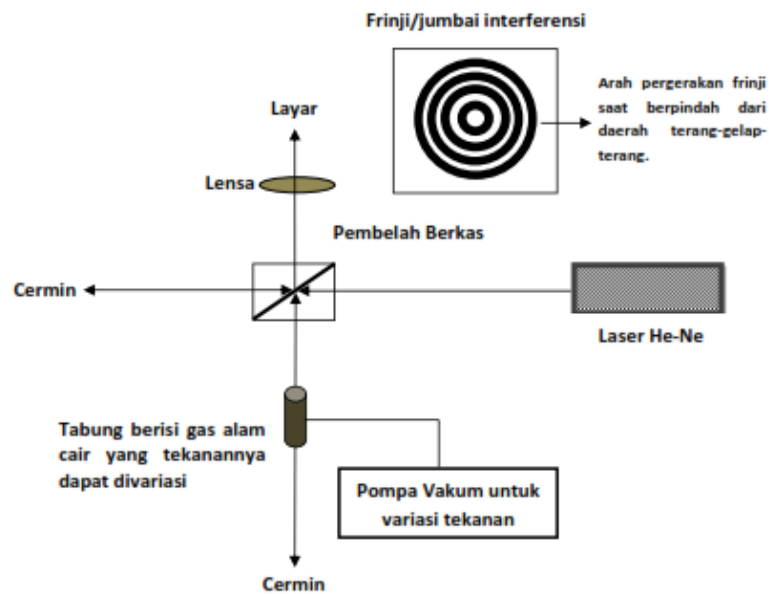
Gambar 2.6 Grafik Hubungan Antara Jenis Gas dengan (a). Pola Respon Sensor (b). Tingkat Sensitivitas Sensor (Hipatli dkk, 2010).

2.3 Pengukuran Perubahan Indeks Bias Gas Alam Cair (Butana) Menggunakan Interferometer Michelson

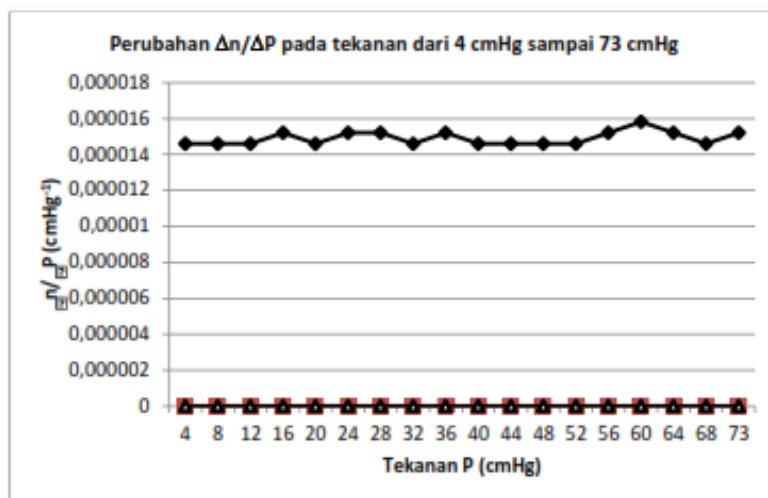
Pada penelitian ini interferometer Michelson digunakan untuk mengukur perubahan indeks bias gas butana, dengan memvariasikan tekanan pada tabung yang berisi gas butana pada salah satu sisi cermin interferometer Michelson, kemudian melewatkan berkas laser He-Ne pada tabung melalui kedua ujungnya yang terbuat dari kaca transparan. Pada saat terjadi perubahan tekanan setiap 4 cmHg, maka pengamatan dilakukan. Perubahan tekanan didalam tabung gas menyebabkan pergeseran pola interferensi pada layar pengamatan. Perubahan setiap titik interferensi melalui titik pengamatan pada layar direkam. Satu siklus dari interferensi konstruktif-destruktif-konstruktif terjadi sebagai jumlah berkas panjang gelombang cahaya laser He-Ne yang merambat pada tabung gas yang berubah sebesar satu panjang gelombang. Adapun skematik penelitian diperlihatkan pada Gambar 2.7.

Berdasarkan hasil analisa memperlihatkan bahwa peningkatan tekanan mengakibatkan perubahan indeks bias butana, dan meningkat sekitar 2.10^{-5} – 5.10^{-5} . Perbandingan tekanan dan indeks bias memperlihatkan ketidaklinieran dan

data juga menunjukkan deviasi. Pengukuran indeks bias dilakukan dengan variasi range tekanan dari 4 cmHg sampai 73 cmHg. Dengan menghitung setiap perubahan frinji pada layar pengamatan maka indeks bias dapat ditentukan (Richard dkk, 2014). Adapun grafik hasil pengukuran diperlihatkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Diagram Skematik Pengukuran Indeks Bias Gas Butana (Richard dkk, 2014).



Gambar 2.8 Grafik Perubahan Indeks Bias Gas Butana Terhadap Perubahan Tekanan (Richard dkk, 2014).

2.4 Menentukan Indeks Bias Cairan Menggunakan Interferometer Michelson

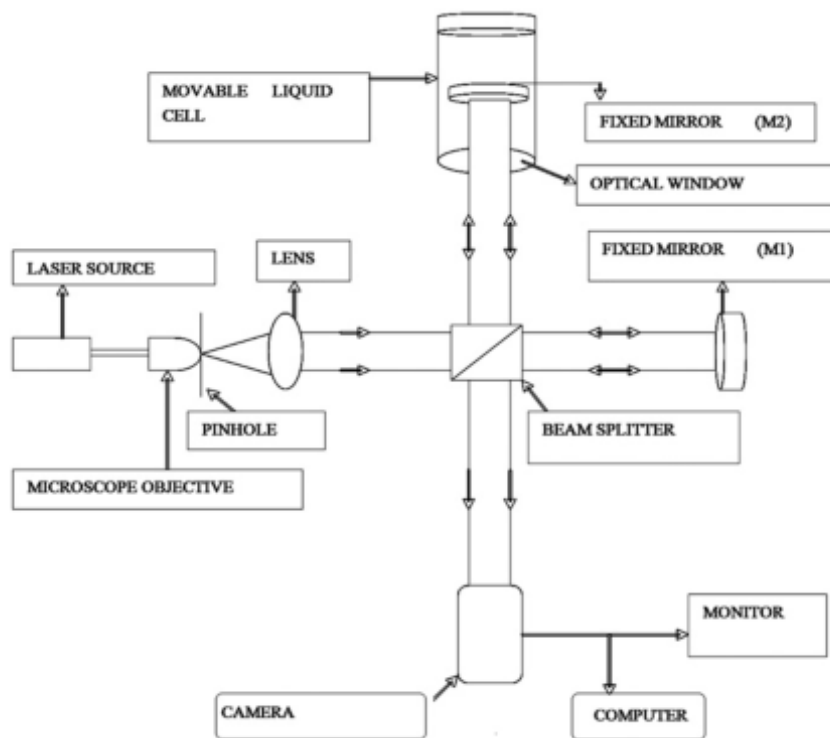
Penelitian ini dilakukan dengan mengukur indeks bias cairan menggunakan interferometer Michelson. Interferometer dimodifikasi dengan menggabungkan wadah cairan dengan salah satu cermin pada sisi interferometer, hal ini memungkinkan panjang lintasan optik yang bervariasi secara terus menerus tanpa menggerakkan cermin. Pengukuran indeks bias menggunakan interferometer Michelson yang dimodifikasi dilakukan dengan dua teknik yang memanfaatkan *hardware* yang sama, tetapi masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan (Kachiraju dkk, 2012). *Full Width at Half Maximum* (FWHM) merupakan metode yang hanya memerlukan analisis dari frinji tunggal, sehingga sangat cepat, meskipun kadang tidak akurat. Metode *fringe-counting* dengan menghitung ratusan frinji sebagai panjang lintasan optik yang melalui cairan, sehingga membuat pengukuran sangat tepat dan akurat tetapi cukup membutuhkan banyak waktu. Adapun diagram skematik percobaan diperlihatkan pada Gambar 2.9.

Penelitian dilakukan untuk mengukur indeks bias larutan gula dengan menggunakan *software* sebagai pengolahan gambar untuk merekam, menganalisa, dan menghitung pola interferensi. Dengan menggunakan dua metode tersebut maka akan didapat hasil pengukuran beberapa indeks bias cairan jenis lainnya seperti terlihat pada Tabel 2.1. Pada pengujian sampel larutan gula dilakukan beberapa variasi konsentrasi mulai 5% hingga 25%, dan didapatkan hasil indeks bias berpengaruh terhadap konsentrasi, seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.

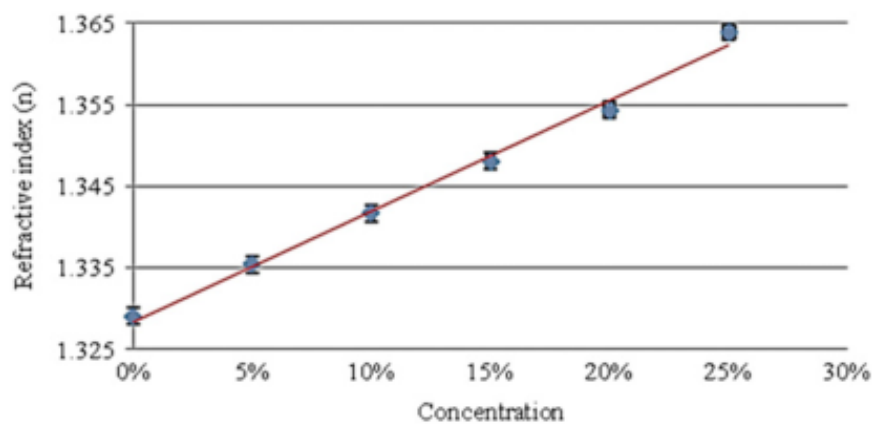
Tabel 2.1 Hasil Pengukuran Indeks Bias Beberapa Sampel Cairan.

Liquid	Refractive index (This work)	Refractive index (Others)
Water	1.331903 ± 0.000001	1.330 ± 0.01 [3]
RP-1 (liquid rocket fuel)	1.454350 ± 0.000001	unknown
Glycerin	1.471436 ± 0.000001	1.472 ± 0.01 [8]
Alcohol (ethyl alcohol)	1.360696 ± 0.000001	1.360 ± 0.01 [3]
Cooking oil	1.47460 ± 0.000001	1.47 ± 0.01 [9]

Sumber: Kachiraju dkk, 2012



Gambar 2.9 Susunan Diagram Skematik Eksperimen (Kachiraju dkk, 2012).

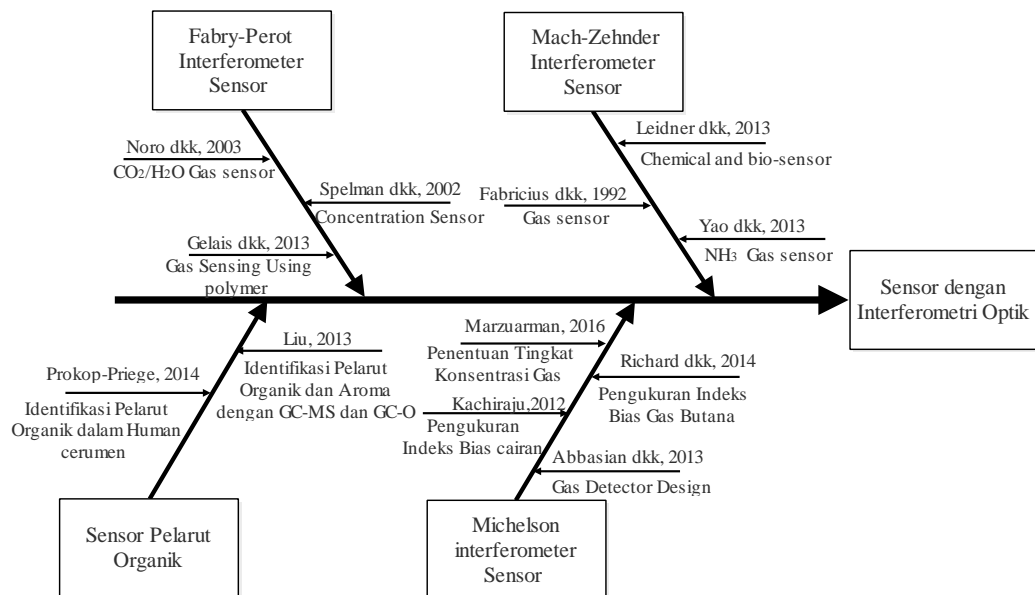


Gambar 2.10 Grafik Perubahan Indeks Bias Gula Terhadap Perubahan Konsentrasi (Kachiraju dkk, 2012).

2.5 Diagram Fishbone

Pada penelitian ini dibuat diagram *fishbone* untuk menggambarkan sebab-sebab dari suatu masalah, kemudian menganalisis masalah tersebut dan menggambarannya ke dalam sebuah bagan.

Bagian-bagian *fishbone* pada penelitian ini terdiri dari empat bagian yang mendukung sebagai proses awal penentuan konsentrasi gas menggunakan interferometri optik, yaitu *Mach-Zehnder interferometer Sensor*, *Michelson interferometer sensor*, *Fabry-Perot interferometer Sensor*, dan sensor pelarut organik. Dari setiap bagian terdiri dari sub bagian pendukung atau *paper* penunjang untuk dilakukan penelitian ini. *Paper* tersebut dikaji, sehingga diperoleh suatu permasalahan yang akan dilakukan pada penelitian. Adapun gambar diagram *fishbone* yang dibuat diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Diagram *Fishbone* Penelitian.

2.6 Interferometer Michelson

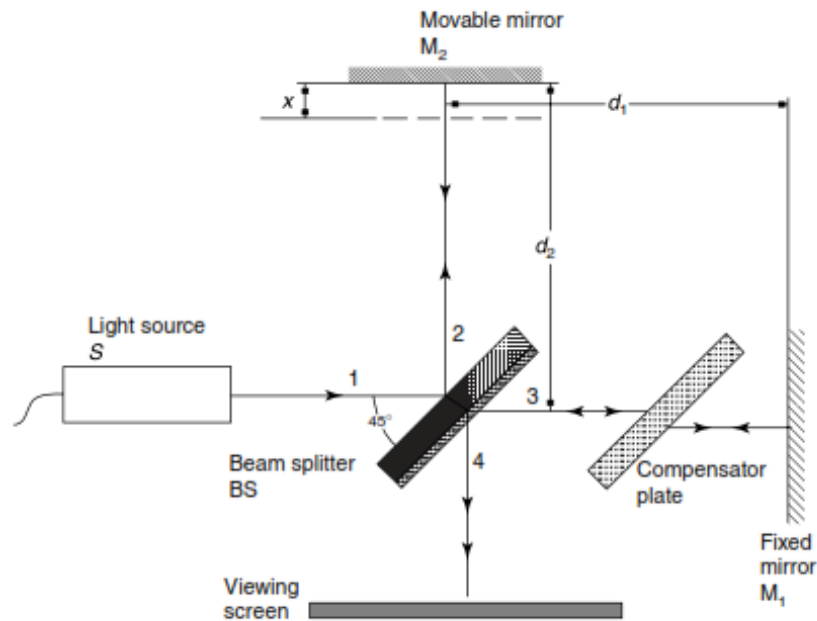
Interferometer Michelson merupakan suatu perangkat optik yang mampu mengukur jarak dalam satuan panjang gelombang cahaya dari suatu sumber tertentu. Interferometer menghasilkan interferensi antara dua berkas cahaya, itu terjadi akibat perbedaan lintasan optik antara dua berkas cahaya, sehingga cahaya membentuk suatu pola yang disebut pola interferensi atau pola frinji. Pada Gambar 2.12 memperlihatkan diagram skematik dari interferometer Michelson, gambar tersebut menjelaskan bagaimana proses transmisi cahaya pada diagram skematik interferometer Michelson. *Light source* merupakan sumber cahaya yang berasal dari laser, kemudian sinar ditransmisikan ke *beam splitter*. *Beam splitter* akan membagi berkas cahaya laser menjadi dua bagian, yaitu menuju M2 dan menuju M1, kemudian cahaya dari masing-masing *mirror* (cermin) dipantulkan kembali menuju *beam splitter* dan kedua berkas cahaya digabungkan kembali dan diteruskan menuju *viewing screen*, sehingga cahaya pada *viewing screen* akan menghasilkan pola frinji seperti yang terlihat pada Gambar 2.13.

Ketika kedua berkas gelombang cahaya mengalami pergeseran fase hingga setengah panjang gelombangnya, maka kedua berkas cahaya akan saling melemahkan (interferensi destruktif), dan jika kedua berkas gelombang cahaya mengalami fase yang sama maka cahaya tersebut akan saling menguatkan (interferensi konstruktif) dan menghasilkan gelombang baru yang terbentuk dari penjumlahan dua gelombang tersebut.

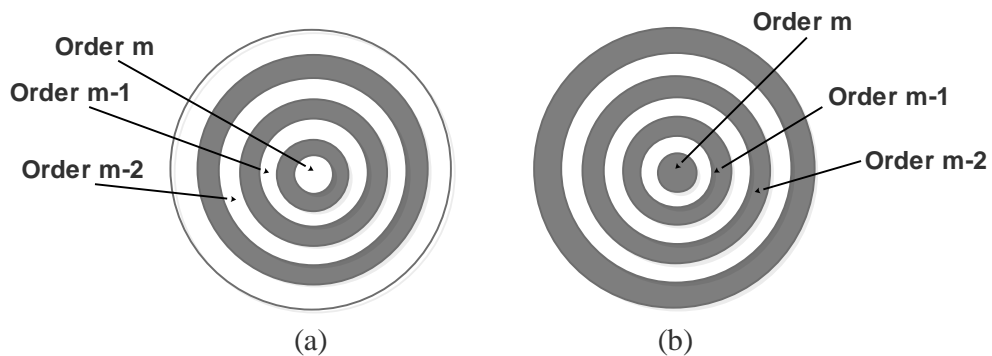
Pergeseran fase pada interferometer Michelson terjadi akibat perbedaan lintasan optis antara cahaya yang melewati cermin M₁ dan cermin M₂. Untuk mengubah lintasan optis tersebut adalah dengan menggeser jarak dari salah satu cermin, sehingga frinji akan mengalami perubahan dengan acuan suatu titik pusat. Jarak pergeseran fase yang berhubungan dengan perubahan pola frinji dapat ditentukan dengan Persamaan 2.3,

$$\Delta m = \frac{2\Delta d}{\lambda} \quad (2.3)$$

dimana Δm adalah perubahan jumlah frinji, Δd adalah perubahan lintasan optis, dan λ adalah panjang gelombang sumber cahaya.



Gambar 2.12 Diagram Skematik Interferometer Michelson (Al-Azzawi, 2006).



Gambar 2.13 Jenis-jenis Interferensi (a). Interferensi Konstruktif (b). Interferensi Destruktif.

Pola interferensi terjadi karena adanya beda fase gelombang antara kedua berkas sinar laser. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa jika dua berkas sinar dalam fase yang sama atau pada beda fase 0 derajat, maka akan terjadi interferensi konstruktif, jika dua berkas sinar berada pada beda fase 180 derajat, maka terjadi intreferensi destruktif, dan jika dua berkas sinar berada pada beda fase diantara 0 hingga 180 derajat, maka akan terjadi perubahan atau pergeseran jari-jari pola

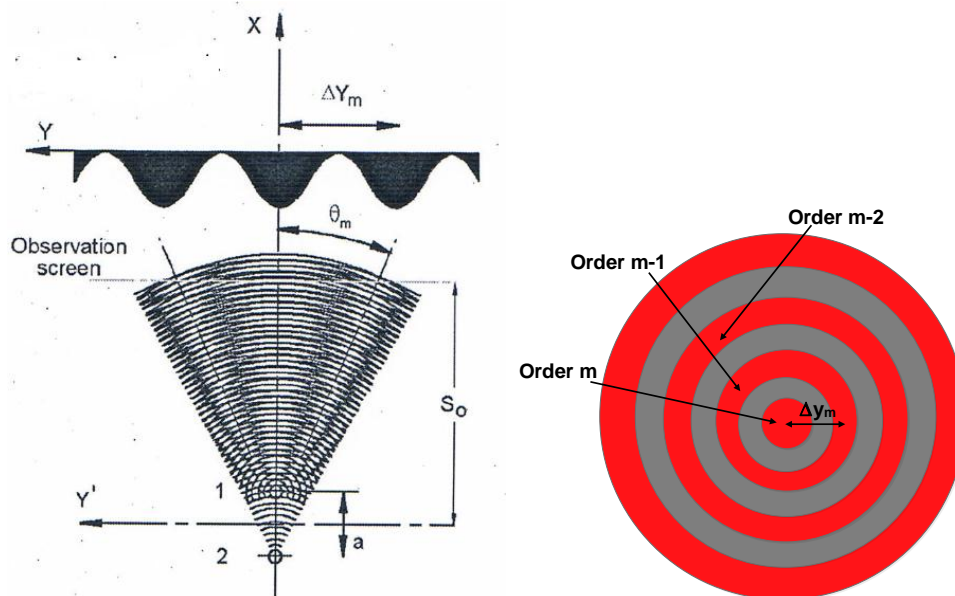
interferensi. Untuk menentukan jarak frinji pada interferensi dinyatakan dalam Persamaan 2.4,

$$y_m = \frac{s.m.\lambda}{a} \quad (2.4)$$

dimana y_m adalah jarak frinji antara titik pusat dengan frinji orde m , s adalah jarak *beam splitter* dengan *viewing screen*, a adalah beda lintasan optis antara dua berkas laser, dan λ adalah panjang gelombang laser. Adapun perubahan atau pergeseran jarak frinji pada interferensi dinyatakan dalam Persamaan 2.5.

$$\Delta y_m = y_{m+1} - y_m \quad \text{atau} \quad \Delta y_m = \frac{s.\lambda}{a} \quad (2.5)$$

Interferensi pada interferometer Michelson terjadi akibat beda lintasan antara cahaya pada cermin 1 dan cermin 2, ketika cermin 2 digeser, maka terjadi perubahan Δy_m , atau bisa pada kondisi terang menjadi gelap dan gelap menjadi terang. Adapun proses interferensi pada interferometer Michelson dijelaskan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Interferensi Michelson.

Pada penelitian ini, perubahan indeks bias gas dianggap sebagai pergeseran nilai a , semakin besar indeks bias gas maka nilai a juga semakin besar dan menyebabkan terjadi perubahan Δy_m , karena ketika cahaya melewati suatu medium yang indeks biasnya lebih besar dari indeks bias udara dan ruang hampa udara, maka kecepatan cahaya yang melewati medium menjadi berkurang dan menyebabkan *delay* fase pada proses transmisi cahaya tersebut.

Interferometer Michelson memiliki beberapa komponen penyusun, antara lain laser, *beam splitter*, cermin dan beberapa komponen pendukung lainnya.

2.6.1 Interferensi Cahaya

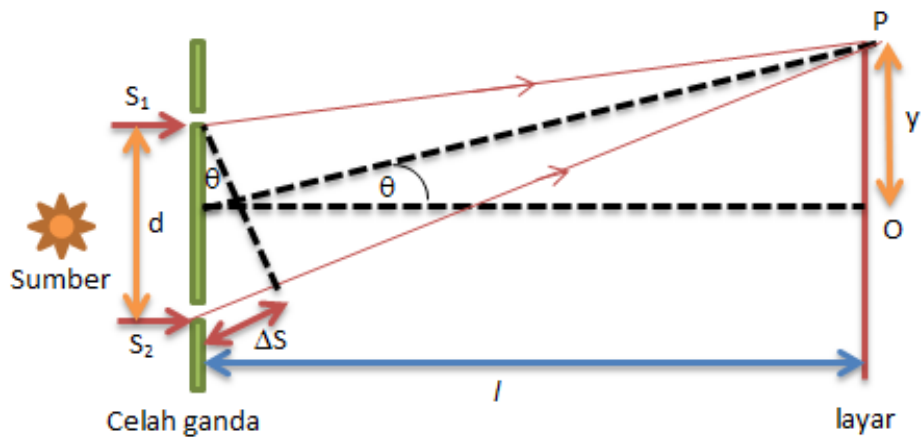
Interferensi cahaya merupakan interaksi dua atau lebih gelombang cahaya yang menghasilkan suatu radiasi yang menyimpang dari jumlah masing-masing komponen radiasi gelombangnya, kedua gelombang atau lebih harus *koheren*, yaitu memiliki frekuensi dan amplitudo yang sama serta selisih atau beda fase tetap. Interferensi cahaya menghasilkan suatu pola interferensi (terang gelap). Adapun kondisi interferensi cahaya diperlihatkan pada Gambar 2.15. Secara umum interferensi konstruktif terjadi jika kedua gelombang memiliki fase yang sama, yaitu jika selisih lintasannya sama dengan nol atau bilangan bulat dikali panjang gelombang cahaya. Adapun proses terjadinya interferensi konstruktif dijelaskan pada Persamaan 2.6,

$$\frac{P.d}{l} = (2m) \frac{1}{2} \cdot \lambda \quad (2.6)$$

dimana d adalah jarak kedua sumber cahaya, P adalah jarak dari terang atau gelap ke- m dengan pusat terang, l adalah jarak sumber cahaya dengan layar, m adalah bilangan bulat, dan λ adalah panjang gelombang cahaya.

Interferensi destruktif terjadi jika kedua gelombang memiliki beda fase sebesar 180° , yaitu selisih lintasannya sama dengan bilangan ganjil dikali setengah panjang gelombang. Adapun proses terjadinya interferensi destruktif dijelaskan pada Persamaan 2.7.

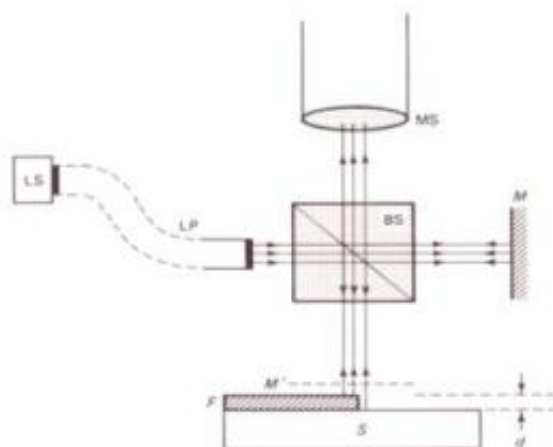
$$\frac{P.d}{l} = (2m-1) \frac{1}{2} \cdot \lambda \quad (2.7)$$



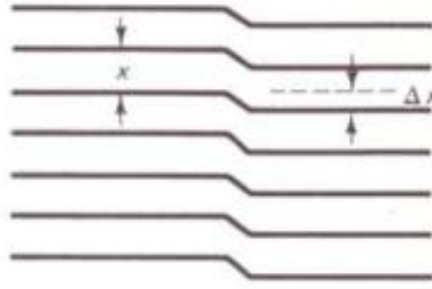
Gambar 2.15 kondisi Interferensi Cahaya.

2.6.2 Pengukuran Ketebalan Lapisan Tipis dengan Interferensi

Garis-garis ketebalan sama (*fringes of equal thickness*) dapat diajadikan suatu analisa untuk menentukan ketebalan lapisan tipis (Pedrotti, 1987). Sesuai pada Gambar 2.16 menunjukkan skematis prinsip kerja dari proses ini, misalnya lapisan tipis yang mempunyai ketebalan d . Lapisan film tipis diletakkan di atas sebagian substrat. Sumber cahaya laser ditembakkan ke arah *beam splitter*, kemudian mentransmisikan satu berkas ke cermin datar dan satu berkas lain ke permukaan film. Setelah dipantulkan, masing-masing ditransmisikan oleh *beam splitter* ke arah suatu mikroskop dan dimungkinkan cahaya untuk berinterferensi.



Gambar 2.16 Pengukuran Lapisan Tipis Menggunakan Interferometer (Pedrotti, 1987).



Gambar 2.17 Skema Pergeseran Garis Interferensi Pada Garis Batas Lapisan (Film) (Pedrotti, 1987).

Jika substrat dan cermin datar saling tegak lurus, dan berjarak sama dari *beam splitter*, efeknya akan sama dari cahaya sumber yang jatuh pada tebal lapisan udara d . Garis-garis interferensi akan tampak, sebagai alat perubahan sudut datang yang sangat kecil dari cahaya yang berasal dari titik lain pada sumber laser dan jatuh pada lapisan udara yang sama. Untuk lapisan tebal, selisih lintasan sebesar satu panjang gelombang dapat ditimbulkan oleh perubahan sudut datang yang sangat kecil, seperti terlihat pada Gambar 2.17.

Untuk sinar datang sejajar garis normal, pola-pola garis terang adalah sesuai dengan Persamaan 2.8,

$$\Delta_p + \Delta_r = 2nt + \Delta r = m\lambda \quad (2.8)$$

dimana t adalah ketebalan lapisan udara pada beberapa titik. Jika ketebalan diganti dengan $\Delta t = d$, maka orde interferensi m berubah, dan diperoleh hubungan seperti pada Persamaan 2.9,

$$2nd = (\Delta m)\lambda \quad (2.9)$$

dimana $n=1$ adalah indeks bias medium udara, untuk satu pergeseran garis interferensi sebesar Δx perubahan dalam orde interferensi (m) diberikan oleh $\Delta m = \Delta x/x$, sehingga menghasilkan Persamaan 2.10,

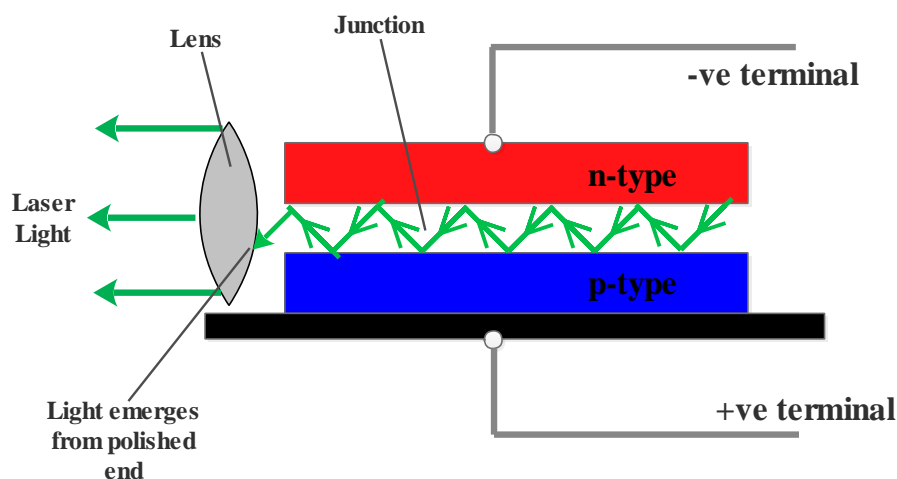
$$d = \left(\frac{\Delta x}{x} \right) \left(\frac{\lambda}{2} \right) = \left(\frac{\Delta m \lambda}{2} \right) \quad (2.10)$$

dimana d adalah ketebalan film, Δx adalah besarnya pergeseran pola interferensi, dan x adalah jarak antara pola interferensi.

2.6.3 *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Laser)*

Laser merupakan suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik berupa cahaya yang dapat terlihat maupun tidak dapat terlihat oleh mata. Laser terjadi karena proses pancaran yang terstimulasi, sehingga mampu menghasilkan suatu panjang gelombang tunggal (monokromatis). Laser terdiri dari beberapa jenis, namun pada penelitian ini menggunakan dioda laser yang beberapa fungsinya dapat diaplikasikan pada laser *pointer* sebagai sumber cahaya pada interferometer Michelson. Pada Gambar 2.18 menjelaskan bagaimana dioda laser akan menghasilkan cahaya.

Dioda laser adalah sejenis dioda dimana media aktifnya menggunakan sebuah semikonduktor sambungan p-n yang sama dengan *Light Emitting Diode (LED)*, namun perbedaannya dioda laser menghasilkan sinar cahaya dengan intensitas yang lebih tinggi daripada LED. Pada saat dilakukan injeksi arus listrik melalui sambungan, elektron-elektron di pita konduksi pada lapisan aktif dapat bergabung kembali dengan lubang-lubang di pita valensi. Untuk arus injeksi yang kecil penggabungan ini terjadi secara acak dan menghasilkan radiasi, proses ini adalah yang terjadi pada LED. Tetapi apabila arus injeksinya cukup besar, pancaran terangsang mulai terjadi di daerah lapisan aktif.

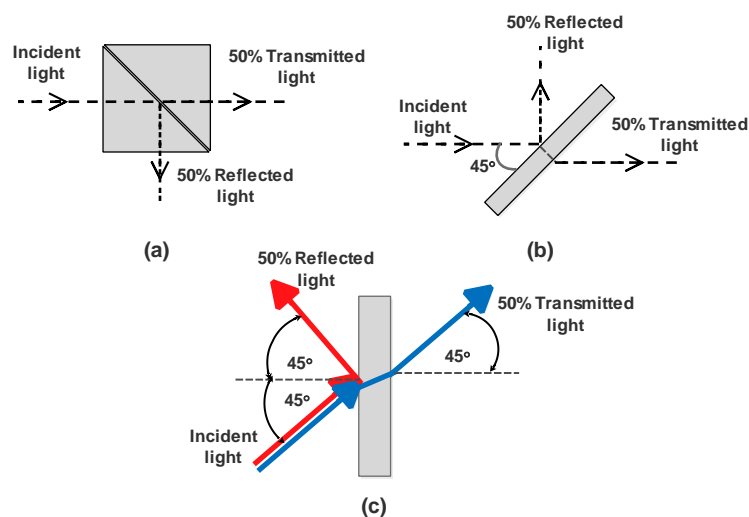


Gambar 2.18 Prinsip Kerja Dioda Laser.

Lapisan ini berfungsi pula sebagai rongga resonansi optisnya, sehingga cahaya laser akan terjadi sepanjang lapisan ini. Pelapisan seperti yang dilakukan pada cermin, hal ini tidak diperlukan lagi karena bahan dioda sendiri sudah mengkilap (metalik), cukup dengan menggosok bagian luarnya agar dapat memantulkan sinar yang dihasilkan dalam lapisan aktif. Kelemahan sistem laser ini adalah sifatnya yang tidak monokromatik, karena transisi elektron yang terjadi bukanlah antar tingkat energi tapi antar pita energi, padahal pita energi terdiri dari banyak tingkat energi.

2.6.4 *Beam Splitter*

Beam splitter atau pembagi cahaya merupakan suatu perangkat optik yang dapat membagi berkas cahaya menjadi dua. Pada umumnya *beam splitter* memiliki beberapa bentuk fisik, yakni berbentuk kubus yang terdiri dari gabungan antara dua prisma segitiga, *beam splitter* menggunakan cermin setengah perak berbentuk piringan kaca lapisan tipis berupa aluminium dan *beam splitter* menggunakan cermin prisma *dichroic*. Adapun skema dari ketiga *beam splitter* diperlihatkan pada Gambar 2.19. Jika sudut datang sinar sebesar 45° , maka 50% sinar akan dipantulkan dan 50% lagi akan ditransmisikan. *Beam splitter* umumnya banyak digunakan pada interferometri optik, fluoresensi, instrumentasi semikonduktor, kamera, dan proyektor.

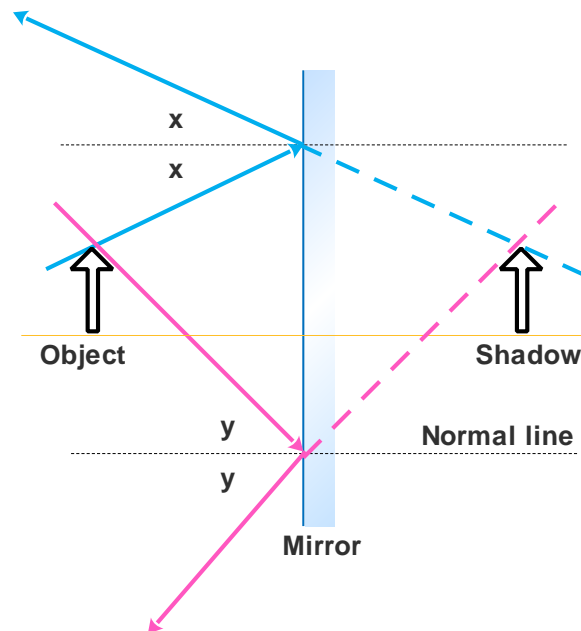


Gambar 2.19 Jenis- jenis pembagi sinar (a) *Beam Splitter* Kubus (b) *Beam Splitter* Cermin Setengah Perak (c) *Beam Splitter* Cermin *Dichroic*.

2.6.5 Cermin (*Mirror*)

Cermin adalah sebuah benda dengan permukaan yang dapat memantulkan bayangan benda dengan sempurna. Cermin memiliki beberapa bentuk yaitu cermin datar, cermin cembung, dan cermin cekung, namun pada penelitian ini cermin yang akan digunakan pada interferometer adalah cermin datar.

Cermin datar merupakan cermin yang permukaan pantulnya berupa bidang datar. Permukaan cermin datar sangat halus dan memiliki permukaan yang datar pada bagian pemantulannya, biasanya terbuat dari kaca. Dibelakang kaca dilapisi logam tipis mengilap sehingga tidak tembus cahaya. Sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin datar adalah maya, tegak, dan sama besar. Adapun bayangan yang dibentuk oleh cermin datar dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Pembentukan Bayangan oleh Cermin Datar.

2.7 Indeks Bias

Ketika seberkas cahaya mengenai permukaan suatu benda, maka sebagian cahaya dipantulkan dan ada yang diteruskan. Jika benda tersebut transparan seperti kaca atau air, maka sebagian cahaya yang diteruskan terlihat dibelokkan, dikenal dengan pembiasan. Cahaya yang melalui batas antar dua medium dengan kerapatan optik yang berbeda, kecepatannya akan berubah. Perubahan kecepatan cahaya akan menyebabkan cahaya mengalami pembiasan.

Perambatan cahaya dalam ruang hampa udara memiliki kecepatan c , kemudian setelah melalui medium tertentu akan berubah kecepatannya menjadi v , dengan $v \ll c$. Ketika cahaya merambat pada suatu medium, kecepatannya akan turun sebanding dengan faktor yang menentukan karakteristik suatu bahan yang dinamakan indeks bias (n). Indeks bias merupakan perbandingan (rasio) antara kecepatan cahaya di ruang hampa terhadap kecepatan cahaya di dalam suatu medium, hal ini dijelaskan oleh Persamaan 2.11,

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.11)$$

dimana n adalah indeks bias, c adalah kecepatan cahaya di udara dan v adalah kecepatan cahaya dalam suatu medium.

2.8 Konsentrasi Gas atau Pelarut Organik

Konsentrasi adalah ukuran yang menggambarkan banyaknya zat di dalam suatu campuran dibagi dengan volume total campuran tersebut, tetapi paling sering digunakan untuk menggambarkan jumlah zat terlarut di dalam larutan. Bisa diartikan konsentrasi gas berarti satu atau campuran beberapa uap atau gas yang mengisi suatu volume tertentu. Untuk satuan konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini adalah ppm (*part per million*), nilai konsentrasi dari pelarut organik dalam satuan μL dikonversi kedalam ppm dengan menggunakan persamaan 2.12,

$$C(\text{ppm}) = \frac{\rho V}{M} \frac{V_m}{V_c} 10^6 \quad (2.12)$$

dimana C merupakan nilai konsentrasi dalam ppm, ρ adalah densitas pelarut (g/mL), V adalah volume pelarut (μL), M adalah massa molar pelarut (g/mol), V_m adalah volume molar gas ideal (22.4 L/mol), dan V_c adalah volume chamber (L). Sampel gas yang digunakan pada penelitian ini adalah amonia, alkohol dan bensin atau bahan dari campuran benzena.

2.8.1 Amonia

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3 . Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas. Amonia sendiri adalah senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan. Zat Amonia biasanya digunakan sebagai obat-obatan, bahan campuran pupuk urea, bahan pembuatan amonium klorida pada baterai, asam nitrat, zat pendingin, membuat hidrazin sebagai bahan bakar roket, bahan dasar pembuatan bahan peledak, kertas pelastik, dan detergen dan jika dilarutkan kedalam air maka zat tersebut akan dapat menjadi pembersih alat perkakas rumah tangga. Amonia memiliki sifat-sifat kimia terpenting yang mempengaruhi nilai konsentrasi zat tersebut, yaitu memiliki nilai masa molar sebesar 17,031 g/mol dan densitas 0,73 kg/m³.

2.8.2 Alkohol

Alkohol atau sering disebut etanol dan juga disebut *grain alcohol*. Alkohol adalah istilah yang umum untuk senyawa organik apa pun yang memiliki gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada atom karbon, yang ia sendiri terikat pada atom hidrogen atau atom karbon lain. Alkohol juga dapat digunakan sebagai pengawet untuk hewan koleksi, dapat digunakan sebagai bahan bakar otomoti dan dapat sebagai antibeku pada radiator. Alkohol memiliki masa molar sebesar 46,06844 g/mol dengan nilai densitas sebesar 0,789 kg/m³.

2.8.3 Benzena

Benzena juga dikenal dengan rumus kimia C_6H_6 , PhH, dan benzol, adalah senyawa kimia organik yang merupakan cairan yang mudah terbakar serta mempunyai bau yang tajam. Benzena pada umumnya digunakan sebagai bahan dasar dari senyawa

kimia lainnya. Benzena memiliki masa molar sebesar 78,1121 g/mol dengan nilai densitas sebesar 0,8786 kg/m³.

2.9 Polimer

Polimer adalah suatu molekul raksasa (*makromolekul*) yang terbentuk dari susunan ulang molekul kecil yang terikat melalui ikatan kimia disebut polimer (*poly*= banyak; *mer* = bagian). Suatu polimer akan terbentuk bila seratus atau seribu unit molekul yang kecil (*monomer*), saling berikatan dalam suatu rantai. Jenis-jenis monomer yang saling berikatan membentuk suatu polimer terkadang sama atau berbeda. Sifat-sifat polimer berbeda dari monomer-monomer yang menyusunnya.

Polimer merupakan senyawa-senyawa yang tersusun dari molekul sangat besar yang terbentuk oleh penggabungan berulang dari banyak molekul kecil. Molekul yang kecil disebut monomer, dapat terdiri dari satu jenis maupun beberapa jenis. Polimer adalah sebuah molekul panjang yang mengandung rantai-rantai atom yang dipadukan melalui ikatan kovalen yang terbentuk melalui proses polimerisasi dimana molekul monomer bereaksi bersama-sama secara kimiawi untuk membentuk suatu rantai linier ataujaringan tiga dimensi dari rantai polimer. Polimer didefinisikan sebagai makromolekul yang dibangun oleh pengulangan kesatuan kimia yang kecil dan sederhana yang setara dengan monomer, yaitu bahan pembuat polimer. Penggolongan polimer berdasarkan asalnya, yaitu yang berasal dari alam (polimer alam) dan polimer yang sengaja dibuat oleh manusia (polimer sintesis).

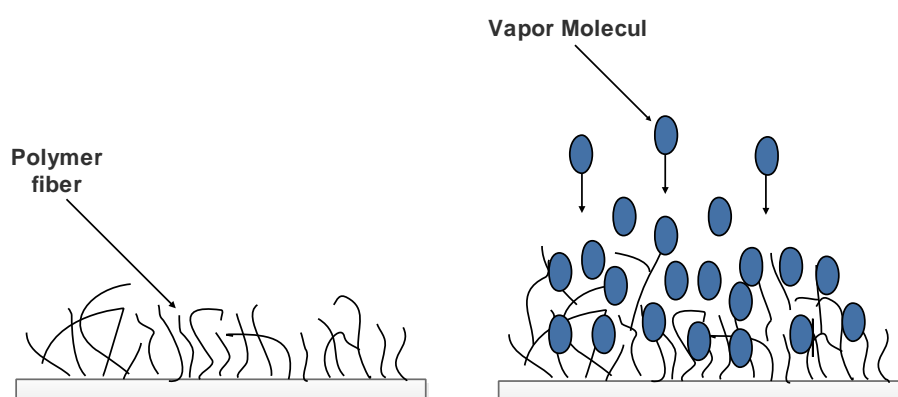
2.10 Pengaruh *Swelling* Pada Polimer Terhadap Perubahan Indeks Bias

Polimer berfungsi untuk mengendalikan selektifitas kimiawi bahan yang diuji, karena materi yang terkandung dalam sensor dapat menyerap gas. Polimer *non-polar* cenderung berinteraksi secara kuat dengan gas pelarut organik *non-polar*, dan polimer *polar* cenderung berinteraksi secara kuat dengan gas pelarut organik *polar*. Setiap jenis gas dapat memberikan gambaran yang khusus berupa pola interaksi. Pola yang dihasilkan ketika berinteraksi dengan gas adalah tanggapan dari setiap materi penyusunnya.

Tabel 2.2 merupakan jenis-jenis bahan polimer yang digunakan sebagai melapisi cermin pada interferometer. Setiap jenis polimer mempunyai konstanta berbeda, konstanta Mc Reynolds menunjukkan ada tiga golongan, yaitu *non-polar*, *mid-polar* dan *polar*. Gambar 2.21 merupakan proses *swelling* pada polimer akibat pengaruh molekul uap dan kelembaban. Partikel uap akan membuat polimer mengalami *swelling*, sehingga mempengaruhi indeks bias polimer yang dilapisi pada cermin.

Tabel 2.2 Jenis-jenis Bahan Polimer.

No	GC Stationary Phase	Tingkat Kepolaran
1	Polyvinylpyrrolidone K-90	Mid-Polar
2	Polyvinyl alcohol	Polar
3	Phenyl Methyl-dimethylpolysiloxane	884 Mid-Polar
4	75% Phenyl Methyl Silicone	Mid-Polar
5	25% Phenyl-25% Cyanopropylmethyilsiloxane (Silicone OV-225)	1813 Mid-Polar
6	Dicyano Ally Silicone (OV-275)	Polar
7	Polyethyleneglycol (PEG-6000)	Polar



Gambar 2.21 Proses *Swelling* pada Polimer.

Prinsip perubahan struktur polimer apabila terkena partikel-partikel air yaitu proses *swelling* pada permukaannya, terjadi tanpa melarutkan dan pada suhu kamar. Hubungan antara indeks bias dari polimer yang terjadi pembengkakan dengan kelembaban diperoleh dari hubungan Lorenz sebagai Persamaan 2.13,

$$\frac{d_n}{d_H} = \frac{(n^2 + 2)^2}{6_n} k_m S \left(1 - \frac{f}{f_c} \right) \quad (2.13)$$

dengan k_m adalah tingkat bias molar yang dibagi dengan berat molekul air, S adalah kelembaban terlarut dari polimer, f adalah fraksi dari kelembaban yang diserap, yang dapat memberikan kontribusi pada peningkatan volume polimer, f_c adalah $k_m \rho_m \frac{n_p^2 + 2}{n_{p-1}^2}$, dengan n_p adalah indeks bias polimer tanpa kelembaban, ρ_m adalah massa jenis air, d_n adalah indeks bias polimer saat pembengkakan, dan d_H adalah ikatan hidrogen (kelembaban).

2.11 Hubungan Antara Indeks Bias, Tekanan dan Suhu Pada Gas

Berdasarkan Persamaan 2.11 yang menyatakan bahwa kecepatan gelombang cahaya pada suatu medium bergantung pada besarnya indeks bias medium tersebut dengan frekuensi tetap sama, maka dapat disimpulkan bahwa panjang gelombang cahaya pada ruang hampa udara berbanding terbalik dengan panjang gelombang cahaya yang melewati suatu medium, seperti terlihat pada Persamaan 2.14,

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad (2.14)$$

dengan λ_0 adalah panjang gelombang cahaya pada ruang hampa dan λ adalah panjang gelombang cahaya yang melewati suatu medium.

Perbedaan indeks bias menyebabkan perambatan cahaya antara udara dan materi berbeda, sehingga memperlambat cahaya dan menyebabkan penundaan waktu yang menghasilkan beda fase. Perlambatan cahaya pada medium atau materi disebabkan interaksi medan listrik antara cahaya yang ditransmisikan dengan elektron yang terdapat pada suatu medium. Oleh karena itu, kepadatan molekul pada medium mempengaruhi indeks bias medium tersebut.

Indeks bias gas sensitif terhadap perubahan tekanan gas. Perubahan antara tekanan dengan indeks bias terjadi secara linier dengan kerapatan molekul bernilai 1 pada ruang hampa udara. Dengan menggunakan v_{mol} untuk jumlah molekul gas dalam volume V , maka didapat hubungan seperti pada Persamaan 2.15,

$$n - 1 \propto \frac{v_{mol}}{V} \quad (2.15)$$

dengan menggunakan persamaan gas ideal maka didapat Persamaan 2.16,

$$p.V = v_{mol}.R.T \quad (2.16)$$

dimana p adalah tekanan mutlak, V adalah volume sampel, T adalah suhu mutlak, dan R adalah konstanta gas *universal*. Dengan menggunakan Persamaan 2.15 dan Persamaan 2.16 maka didapatkan hubungan antara indeks bias gas dan tekanan gas seperti pada Persamaan 2.17,

$$n - 1 \propto \frac{v_{mol}}{V} = \frac{p}{T} \quad (2.17)$$

yang pada suhu konstan T , maka ditulis pada Persamaan 2.18,

$$n - 1 = a.\frac{p}{T} \quad \text{atau} \quad n = 1 + \frac{a}{T}.p \quad (2.18)$$

dimana a adalah faktor proposionalitas, dalam hal ini didapat hubungan linier antara indeks bias gas (n) dan tekanan gas (p) pada suhu konstan (T) dengan memberikan nilai konstanta proposionalitas.

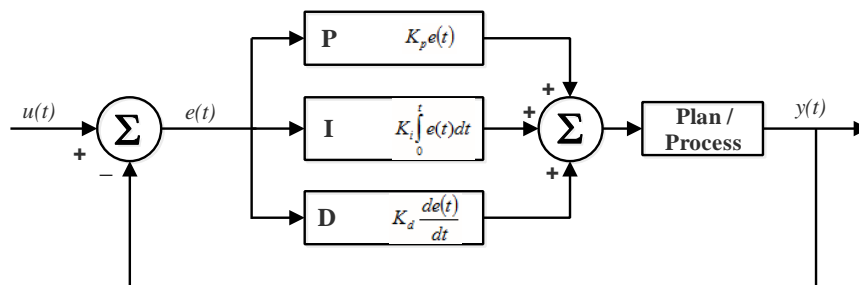
2.12 Kontrol Propotional Integral Derivative (PID)

Didalam suatu sistem kontrol dikenal beberapa macam dan jenis kontrol, diantaranya yaitu kontrol *propotional*, kontrol *integral*, dan kontrol *derivative*. Masing-masing kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana kontrol *propotional* mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, kontrol *integral* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*, dan kontrol *derivative* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshot/undershot*. Untuk itu agar dapat menghasilkan *output* dengan *rise time*

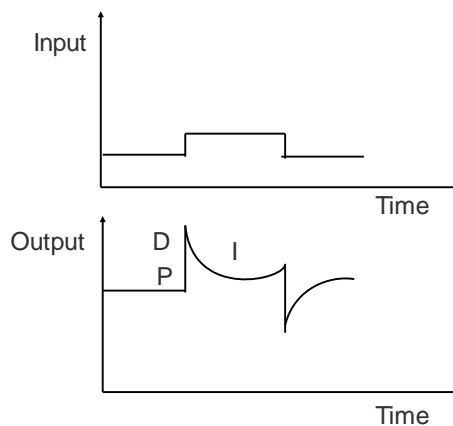
yang cepat dan *error* yang kecil, maka dapat dilakukan dengan menggabungkan ketiga kontrol ini menjadi kontrol PID. Adapun blok diagram kontrol PID diperlihatkan pada Gambar 2.22.

Parameter pengontrol *Propotional Integral derivative* (PID) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang di atur (*plan*). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu *plan*, perilaku *plan* tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum pencarian parameter PID itu dilakukan.

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I, dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol *propotional plus integral plus derivative* (pengontrol PID). Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Keluaran pengontrol PID merupakan penjumlahan dari keluaran pengontrol *propotional*, keluaran pengontrol *integral*, dan keluaran pengontrol *derivative*. Gambar 2.23 menunjukkan hubungan tersebut.



Gambar 2.22 Diagram Blok Kontrol PID.



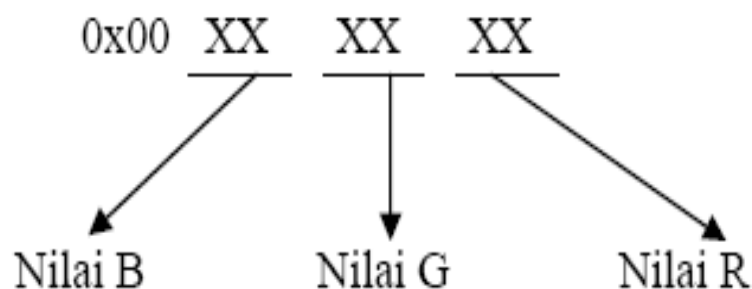
Gambar 2.23 Hubungan dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran dengan Masukan untuk Pengontrol PID.

Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I, dan D. Pengaturan konstanta Kp, Ti, dan Td akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat diatur lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

2.13 Pengolahan Citra (*Image Processing*)

Pengolahan citra adalah pemrosesan citra, khususnya menggunakan komputer, menjadi citra yang kualitasnya lebih baik dan sesuai dengan keinginan pemakai. Pengolahan citra bertujuan memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau mesin (dalam hal ini komputer). Teknik-teknik pengolahan citra mentransformasikan citra ke citra yang lain. Jadi masukannya adalah citra dan keluarannya juga citra, namun citra keluaran atau hasil mempunyai kualitas lebih baik dari pada citra masukan.

Sebuah citra diubah ke bentuk digital agar dapat disimpan dalam memori komputer atau media lain. Proses mengubah citra ke bentuk digital bisa dilakukan dengan beberapa perangkat, misalnya *scanner*, kamera digital, dan *handycam*. Ketika sebuah citra sudah diubah ke dalam bentuk digital (selanjutnya disebut citra digital), bermacam macam proses pengolahan citra dapat diperlakukan terhadap citra tersebut.



Gambar 2.24 Nilai Warna RGB dalam Heksadesimal.

Image processing atau sering disebut dengan pengolahan citra digital merupakan suatu proses dari gambar asli menjadi gambar lain yang sesuai dengan keinginan. Misal suatu gambar yang didapatkan terlalu gelap maka dengan *image processing* gambar tersebut bisa diproses sehingga mendapat gambar yang jelas. Dalam pengolahan citra warna dipresentasikan dengan nilai heksadesimal dari 0x00000000 sampai 0x00ffffff. Warna hitam adalah 0x00000000 dan warna putih adalah 0x00ffffff. Definisi nilai warna tersebut seperti terlihat pada Gambar 2.24, variabel 0x00 menyatakan angka dibelakangnya adalah heksadesimal.

Terlihat bahwa setiap warna mempunyai range nilai 00 (angka desimalnya adalah 0) dan ff (angka desimalnya adalah 255), atau mempunyai nilai derajat keabuan $256 = 2^8$. Dengan demikian range warna yang digunakan adalah $(2^8)(2^8)(2^8) = 2^{24}$ (atau yang dikenal dengan istilah *True Colour* pada *Windows*). Nilai warna yang digunakan di atas merupakan gabungan warna cahaya merah, hijau dan biru seperti yang terlihat pada Gambar 2.24. Sehingga untuk menentukan nilai dari suatu warna yang bukan warna dasar digunakan gabungan skala kecerahan dari setiap warnanya.

2.13.1 Grayscale

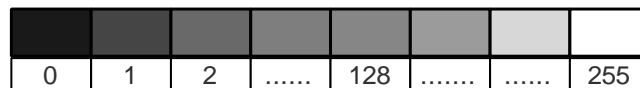
Format citra ini disebut skala keabuan karena pada umumnya warna yang dipakai warna hitam sebagai warna minimal (0) dan warna putih (255) sebagai warna maksimalnya, sehingga warna antaranya adalah abu-abu, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.25.

Derajat keabuan sendiri sebenarnya memiliki beberapa nilai, tidak hanya skala 0 sampai 255. Hal ini tergantung pada nilai kedalaman *pixel* yang dimiliki oleh citra. Beberapa pembagian nilai derajat keabuan yang hubungannya dengan kedalaman *pixel* ditunjukkan pada Tabel 2.3. Nilai 1, 2, 4, dan 8 adalah bilangan bulat positif pada proses kuantisasi citra. Proses kuantisasi citra adalah salah satu bentuk dari proses digitalisasi citra yaitu proses untuk merepresentasikan citra dari fungsi malar (kontinyu) menjadi nilai-nilai diskrit. Proses kuantisasi membagi skala keabuan (*grayscale*) (0, L) menjadi sejumlah level, dinotasikan dengan G dan

nilainya berupa bilangan bulat (*integer*), biasanya G merupakan hasil perpangkatan dari dua, seperti terlihat pada Persamaan 2.19,

$$G = 2^m \quad (2.19)$$

dimana G adalah nilai derajat keabuan (*grayscale*) dan m adalah bilangan bulat positif.



Gambar 2.25 Skala Keabuan.

Tabel 2.3 Derajat Keabuan (*Grayscale*).

<i>Grayscale</i>	<i>Scale (0, L)</i>	<i>Pixel Depth</i>
2^1 (2)	0, 1	1 bit
2^2 (4)	0 sampai 3	2 bit
2^4 (16)	0 sampai 15	4 bit
2^8 (256)	0 sampai 255	8 bit

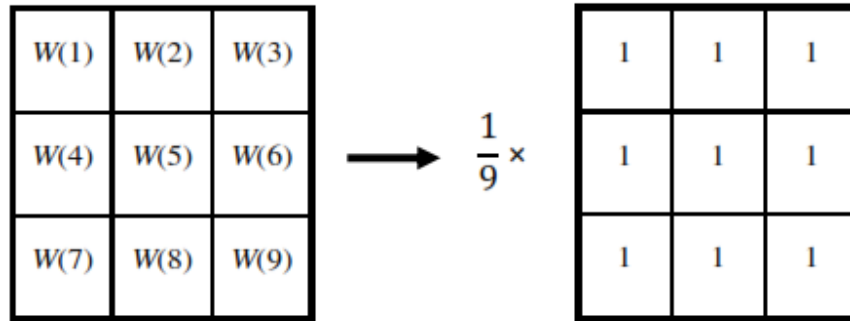
2.13.2 Filter Rata-Rata (*Mean Filter*)

Filter rata-rata berfungsi menghitung nilai rata-rata dari suatu spasial window yang dievaluasi, kemudian nilai rata-rata tersebut menggantikan nilai *pixel* terdegradasi di dalam setiap window yang bergerak mulai dari origin sampai akhir. Secara umum, formula yang digunakan untuk output filter (F') adalah sebagai berikut,

$$F'_{x,y} = \frac{1}{k^2} \sum_{\Gamma=1}^{k+k} W_{\Gamma} Gr_{\Gamma} \quad (2.20)$$

dimana F' adalah output filter, k adalah ukuran matrik, dan W adalah spasial window. Sebagai contoh, *window mask* untuk filter mean berukuran $k=3$, atau 3×3 , adalah matrik satuan, seperti terlihat pada Gambar 2.26, maka persamaan pixel pusat window hasil output dari filter adalah.

$$F'_{x,y} = \frac{G1 + G2 + \dots + G(9)}{9} \quad (2.21)$$



Gambar 2.26 Window Mask 3x3 untuk Filter Rata-Rata.

Halaman ini sengaja dikosongkan

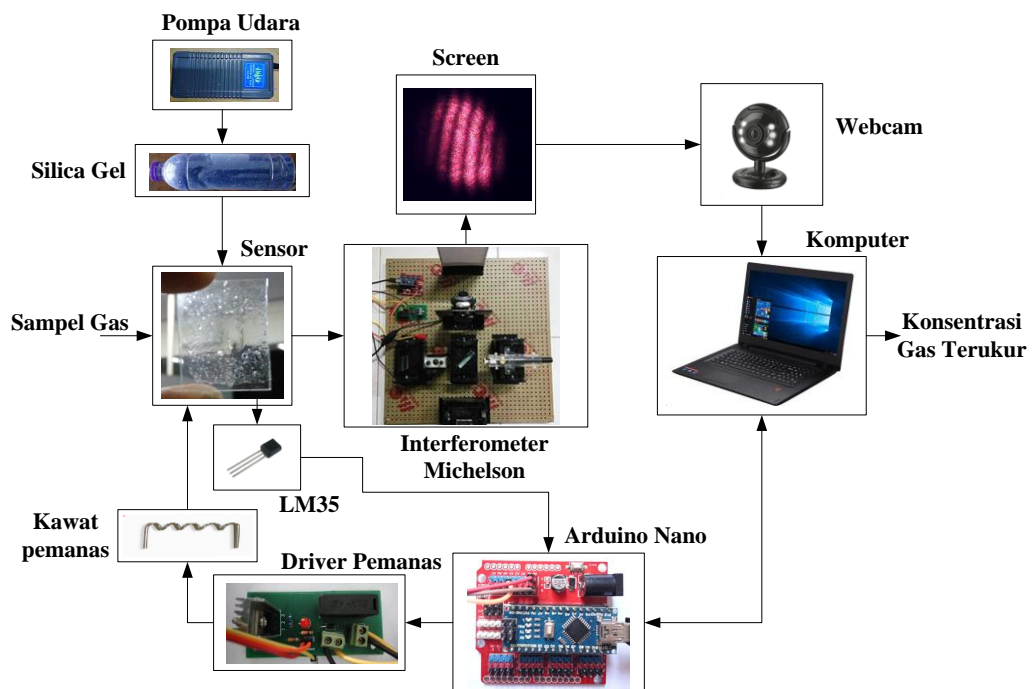
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

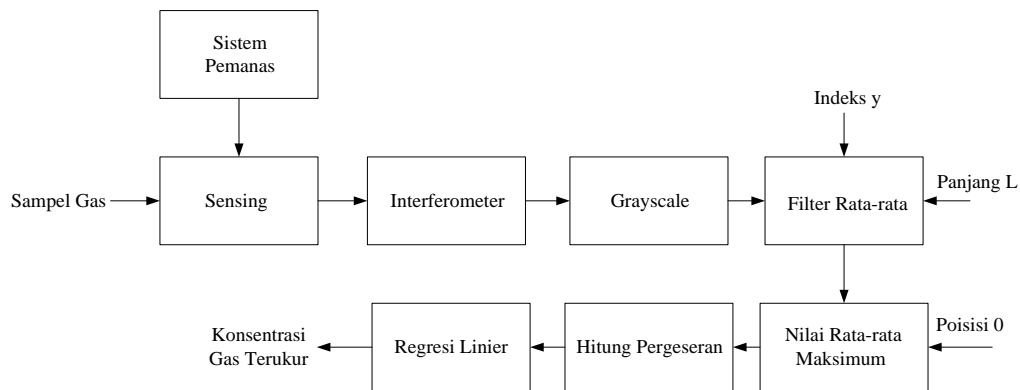
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai diagram blok sistem, perancangan dan pembuatan serat optik, perancangan dan pembuatan sistem sensor serat optik baik perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), prosedur pengambilan dan analisis data pengukuran konsentrasi gas.

3.1 Diagram Blok Sistem

Perencanaan dan pembuatan sistem sangat diperlukan untuk dapat merealisasikan penelitian ini. Agar proses perencanaan dan pembuatan bisa dilakukan dengan mudah maka terlebih dahulu digambarkan melalui diagram blok sistem yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, dan alur proses kerja perangkat lunak pengukuran konsentrasi gas dijelaskan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perangkat Keras.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Perangkat Lunak.

Proses pembacaan sensor gas dilakukan oleh interferometer Michelson, dengan output berupa pola interferensi yang direkam oleh webcam, dengan suhu sensor dikontrol menggunakan kontrol PID, kemudian pola diolah oleh komputer. Sensor ditempelkan pada chamber pengukuran, dan chamber akan dialiri udara dari pompa yang terhubung dengan silica gel yang berfungsi sebagai pembersih udara. Suhu chamber dikontrol oleh Arduino Nano menggunakan kontrol PID dan suhu yang dibaca menggunakan sensor suhu LM35. Sensor yang digunakan adalah menggunakan dua jenis polimer yaitu PVP K-90 dan PVA.

Pada diagram blok perangkat lunak ada beberapa proses yang dilakukan, salah satunya adalah konversi nilai RGB ke *grayscale*, filter *average*, dan penggunaan regresi linier untuk menentukan nilai konsentrasi sebagai fungsi dari pergeseran fase. Konversi nilai RGB ke *grayscale* berfungsi untuk menentukan nilai intensitas rata-rata pola interferensi. filter *average* berfungsi sebagai filter untuk mengurangi noise atau memperhalus nilai intensitas *grayscale*, sehingga nilai rata-rata maksimum dapat ditentukan sebagai titik pengamatan pergeseran fase. Fungsi pembacaan nilai maksimum *average* berfungsi untuk menentukan koordinat *pixel* horizontal dan dapat ditentukan pergeseran koordinat horizontal. Setelah pembacaan pergeseran *pixel* horizontal dilakukan, proses selanjutnya adalah mengkonversi satuan *pixel* ke satuan panjang sebagai penentuan jumlah pergeseran fase. Jumlah pergeseran fase sebagai fungsi konsentrasi dimodelkan kedalam

bentuk grafik, sehingga membentuk regresi dan nilai konsentrasi sebagai fungsi pergeseran fase dapat ditentukan menggunakan persamaan regresi linier.

3.2 Sampel Gas

Pada penelitian ini digunakan tiga jenis sampel gas yaitu bensin, alkohol dan amonia. Penggunaan sampel gas jenis tersebut karena dilihat dari segi kemanfaatan dan umum atau sering digunakan pada kehidupan sehari-hari. Ketiga jenis gas sangat memiliki bau yang tajam dan berbahaya jika terpapar pada konsentrasi tinggi. Oleh sebab itu dirancanglah suatu sensor dengan menggunakan metode interferometer optik untuk mengukur kadar konsentrasi gas tersebut.

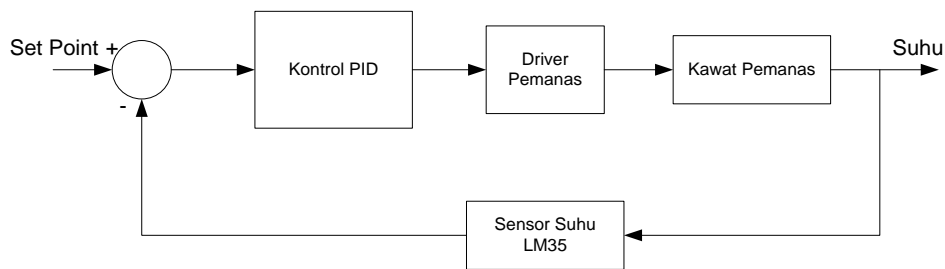
3.3 Sistem Pemanas

Sistem pemanas pada penelitian ini berfungsi sebagai pemanas sensor pada chamber, untuk mendapatkan suhu yang konstan dibutuhkan sebuah kontrol yang baik, pada penelitian ini digunakan kontrol PID sebagai pengatur suhu pada sensor. Adapun peralatan yang dibutuhkan dalam pengontrolan suhu tersebut adalah mikrokontroler, driver pemanas, kawat pemanas, dan sensor suhu LM35.

3.3.1 Kontrol PID

Perancangan kontrol suhu dengan menggunakan kontrol PID pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.3. *set point* berfungsi sebagai pengatur nilai yang dikehendaki. Kontrol PID berfungsi sebagai otak dari pengontrol yang diproses oleh mikrokontroler, adapun persamaan kontrol PID dijelaskan pada Persamaan 3.1. *Driver* pemanas berfungsi merubah dan mengontrol dari sinyal kontrol menjadi tegangan. Kawat pemanas berfungsi sebagai elemen yang akan dipanaskan oleh *driver* pemanas, dan sensor suhu LM35 berfungsi pembaca nilai suhu pada chamber.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$



Gambar 3.3 Blok Diagram Kontrol Suhu dengan Kontrol PID

Pada sistem ini kontrol Proportional–Integral–Derivative (PID) digunakan dalam mengontrol suhu. Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Sehingga dengan memberikan kontrol PID suhu yang diinginkan tetap terjaga. PID adalah kontrol yang terdiri dari proportional (K_p), integral (K_i), dan derivative (K_d).

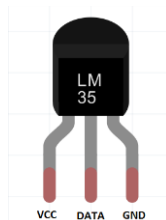
Nilai K_p , K_i , dan K_d dicari secara manual dengan mengamati respon dari suhu yang terbaca pada LM35. Sehingga dapat dibuat logika pemrograman seperti berikut :

1. Menentukan *set point* (suhu yang diinginkan) dan waktu sampling.
2. Kontrol proportional
 - a. Mendapatkan *error* proportional dengan mengurangi *set point* dengan nilai dari sensor LM35.
 - b. Keluaran kontrol proportional hasil dari K_p *tuning manual* dikali nilai *error*.
3. Kontrol Integral
 - a. Mendapatkan *error* integral dengan cara menambah *error* proportional dengan *error* sebelum integral.
 - b. Keluaran kontrol integral adalah hasil kali K_i *tuning manual* dengan *error* integral dan waktu sampling.
4. Kontrol Derivative
 - a. Mendapatkan *error* derivative dengan mengurangi *error* proportional dengan *error* sebelum derivative.

- b. Keluaran kontrol derivative adalah hasil kali K_d *tuning manual* dengan *error derivative*, kemudian dibagi dengan waktu sampling.
5. Kontrol PID adalah hasil dari penambahan keluaran kontrol proportional, kontrol integral, dan kontrol derivative.

3.3.2 Sensor Suhu

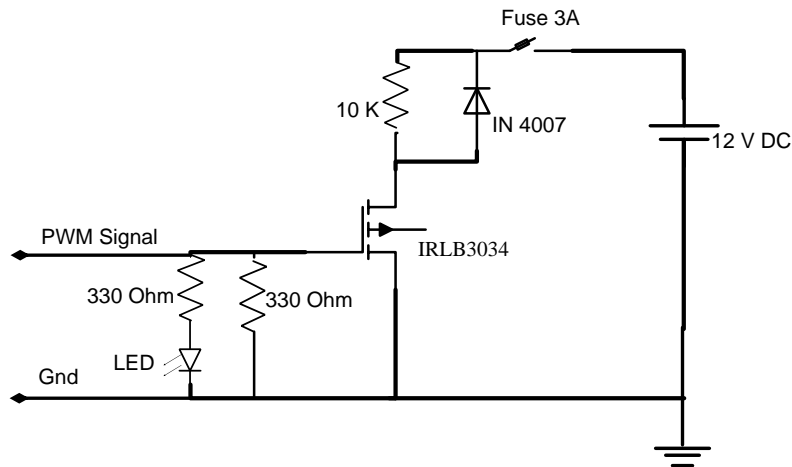
Dalam perancangan sensor suhu pada sistem ini, sensor yang digunakan adalah LM35. Sensor suhu LM35 berfungsi untuk mendeteksi suhu pada chamber sampel. Sensor ini bisa mendeteksi suhu 0-100 derajat Celcius dengan karakteristik 10mV pada output mewakili 1°C. Sensor LM35 mempunyai tiga kaki, yaitu Vcc, Dq (data), dan Ground (Gnd). Kaki data menuju ADC Arduino untuk diolah datanya. Rangkaian LM35 dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Sensor Suhu LM35.

3.3.3 Driver Pemanas

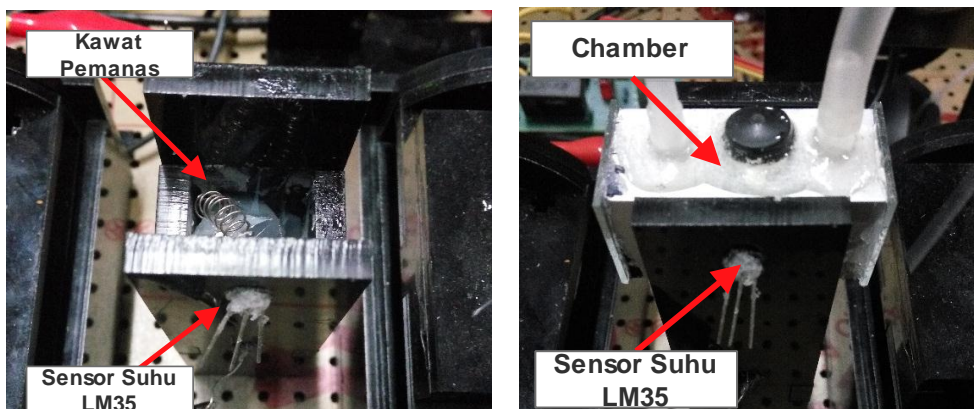
Perancangan *driver* pemanas menggunakan rangkaian utama dengan tipe mosfet IRLB3034. Rangkaian *driver* pemanas yang dibuat dengan menggunakan tegangan *power supply* sebesar 12V DC, yang dihubungkan pada fuse 3A berfungsi sebagai pengaman jika terjadi hubungan singkat. Kemudian rangakain juga menggunakan resistor 10 Kohm dan 330 ohm dan led sebagai penanda signal PWM yang masuk pada rangkaian. Adapun input signal yang masuk berasal dari sinyal PWM Arduino Nano yang terhubung ke kaki Gate mosfet IRLB3034 yang berfungsi sebagai driver tegangan pada kawat pemanas. Adapun gambar rangakaian driver pemanas dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian *Driver* Pemanas.

3.3.4 Dudukan Pemanas

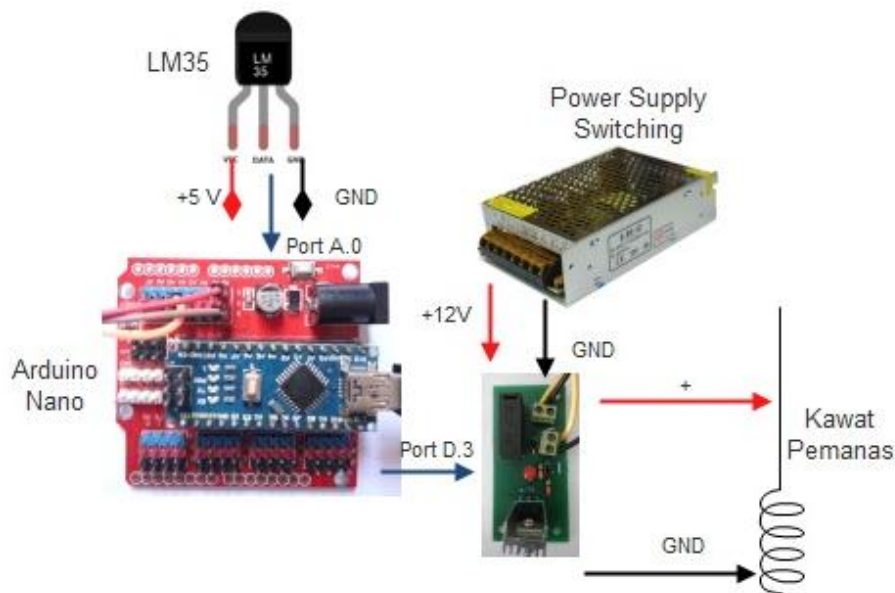
Pemanas diletakkan pada dudukan chamber yang terbuat dari akrilik berbentuk balok dengan ukuran 3cmx3cmx8cm. Pada dudukan chamber dimasukkan kawat pemanas yang berfungsi memanasi chamber yang dikontrol dengan menggunakan kontrol PID. Pada bagian sisi samping dudukan dipasang sensor suhu LM35 yang berfungsi membaca nilai suhu pada chamber. Adapun bentuk fisik dudukan pemanas diperlihatkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Dudukan chamber Tempat diletakkan Kawat Pemanas.

3.3.5 Kontrol Suhu dengan Arduino Nano

Integrasi pengontrolan suhu yang terdiri dari sensor suhu LM35, *driver pemanas*, dan elemen pemanas ditunjukkan pada Gambar 3.7. Nilai suhu yang terbaca dari LM35 dikirim ke port A.0 (ADC.0) Arduino, kemudian ditampilkan pada *software* melalui komunikasi serial, untuk memanaskan kawat nikelin dibutuhkan tegangan suplai sebesar 12V DC dari sebuah *power supply switching*.



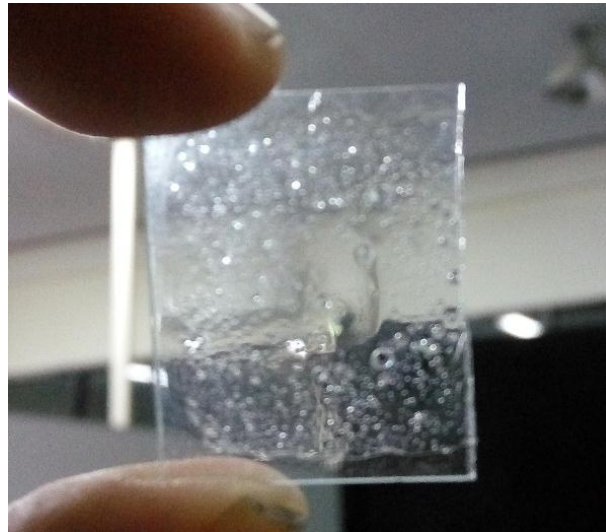
Gambar 3.7 Integrasi Pengontrol Suhu.

3.4 Sensing

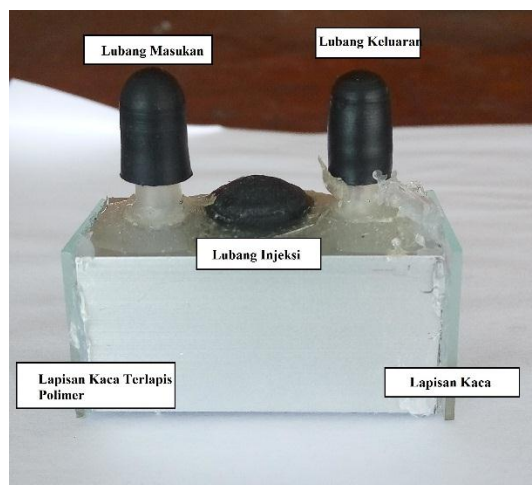
Bagian sensing pada penelitian ini terbuat dari lapisan polimer yang dilapisi pada kaca dan ditempelkan pada chamber. Chamber sampel gas terbuat bahan alumunium berbentuk balok berukuran 4cm x 2cm x 2cm yang kedua ujungnya diberi lubang tempat penempelan kaca sebagai medium transmisi cahaya laser. Kaca tersebut akan dilapisi polimer dan ditempelkan pada chamber, jumlah chamber akan divariasikan sesuai dengan jumlah polimer yang digunakan yaitu PVP K-90 dan PVA. Adapun bentuk dari substrat kaca yang dilapisi polimer terlihat pada Gambar 3.8.

Pada bagian atas chamber dipasangkan dua pipa kecil sebagai tempat aliran udara masuk dan udara keluar, dan juga diberikan lubang injeksi untuk tempat

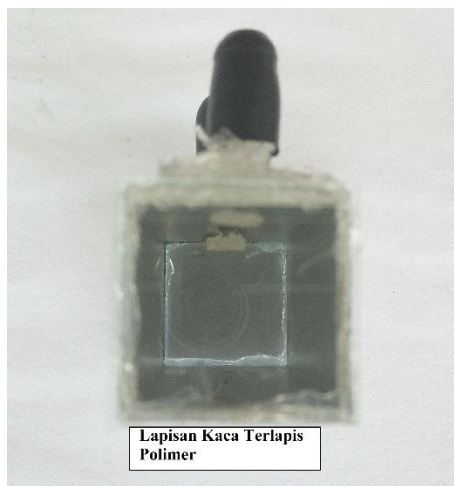
memasukkan sampel gas yang dipasangkan karet pelindung agar udara tidak bisa keluar dan masuk. Adapun bentuk fisik dari chamber sampel yang dibuat diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.8 Substrat Kaca Terlapis Polimer.



(a)



(b)

Gambar 3.9 (a). Chamber Sampel Secara Keseluruhan (b). Chamber Sampel Tampak dari Samping.

3.4.1 Silica Gel

Silika gel adalah salah satu bahan anorganik yang memiliki kestabilan tinggi terhadap pengaruh mekanik, temperatur, dan kondisi keasaman. Silika gel berbentuk butiran-butiran kecil menyerupai kaca dan mempunyai pori-pori yang berukuran 2 nanometer, terbuat dari peleburan pasir kuarsa dengan natrium karbonat pada temperatur 13000C. Silika gel merupakan silika amorf yang terdiri dari globula-globula SiO_4 tetra hedral yang tersusun secara tidak teratur.

Silika gel yang digunakan pada penelitian ini adalah silica gel blue. Silika gel ini bersifat sintesis yang dimodifikasi dengan penambahan warna biru, warna biru ini akan berubah menjadi warna merah muda apabila kandungan uap air sudah terlalu banyak seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Wadah Silica Gel.

3.4.2 Pompa Udara

Untuk mengalirkan sampel gas dari tabung ke chamber dibutuhkan pendorong udara. Udara yang keluar dari pompa udara kemudian masuk ke wadah yang berisi silika gel. Pompa yang digunakan dalam penelitian ini adalah pompa udara pada umumnya yang digunakan untuk memberi gelembung udara pada aquarium seperti pada Gambar 3.11.

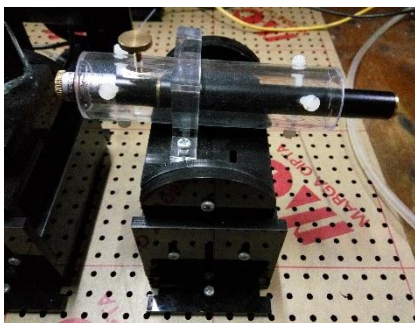


Gambar 3.11 Pompa Udara

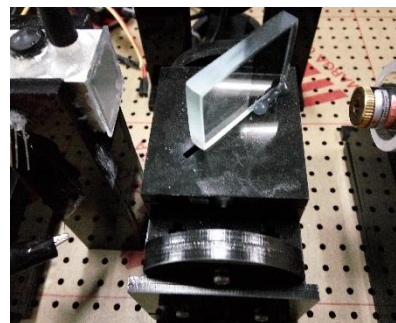
3.5 Interferometer

Perancangan dan pembuatan interferometer Michelson terdiri dari pembuatan dudukan posisi laser, dudukan *beam splitter*, dudukan cermin 1 dan cermin 2, dudukan lensa pembesar, dan *screen* atau layar tampilan untuk merekam perubahan pola interferensi. Masing-masing dudukan terbuat dari bahan akrilik yang disusun dan didesain membentuk beberapa bagian dari masing-masing blok seperti yang terlihat pada Gambar 3.12.

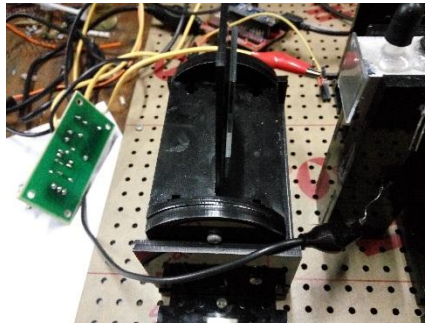
Sumber cahaya atau laser yang digunakan pada penelitian ini menggunakan jenis laser dioda dari laser pointer berwarna merah dengan panjang gelombang 620 nm dan frekuensi 400 THz. *Beam splitter* yang digunakan adalah jenis cermin setengah perak, cermin yang digunakan adalah cermin biasa dan menggunakan lensa cembung untuk memperbesar tampilan pola frinji pada layar.



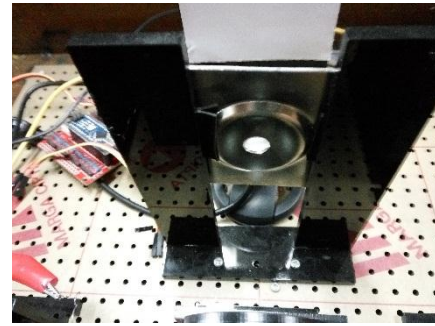
(a)



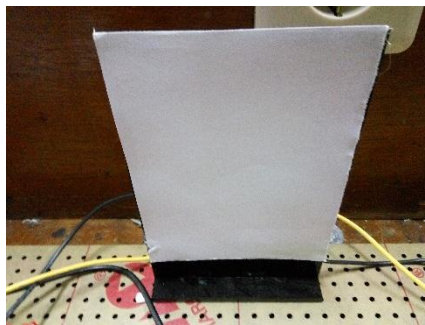
(b)



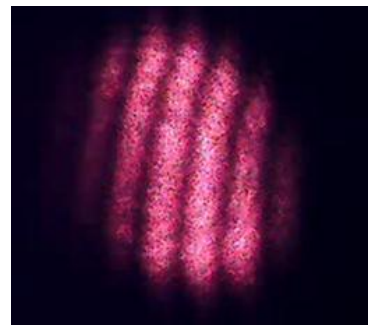
(c)



(d)



(e)



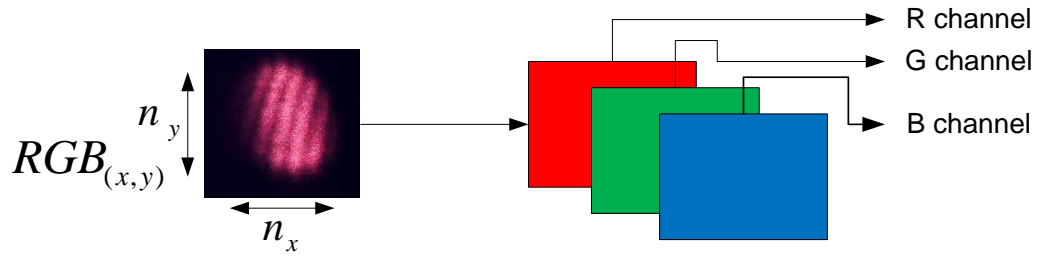
(f)

Gambar 3.12 (a). Dudukan Laser (b). Dudukan Beam Splitter (c). Dudukan Cermin (d). Dudukan Lensa Konvergen (e). Tampilan (f). Hasil Pola Interferensi.

Setelah melakukan perancangan dan pembuatan interferometer Michelson, kemudian interferometer diujikan untuk melihat pergeseran fase yang terjadi. Dengan menggeser panjang lintasan salah satu cermin atau juga dengan meletakkan suatu bahan transparan pada salah satu sisi cermin. Jika pergeseran dapat diamati maka proses selanjutnya memasang posisi webcam di depan tampilan untuk dapat merekam setiap perubahan yang terjadi.

3.6 *Grayscale*

Perubahan intensitas nilai RGB menjadi *grayscale* berfungsi untuk meratakan intensitas pola yang terekam oleh kamera. *Grayscale* sendiri sebenarnya memiliki beberapa nilai, tidak hanya skala 0 sampai 255. Hal ini tergantung pada nilai kedalaman *pixel* yang dimiliki oleh citra. Pada tiap *pixel* terdiri dari tiga *channel* warna yaitu merah, hijau dan biru seperti terlihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Ilustrasi RGB.



Gambar 3.14 Blok Diagram Konversi RGB ke *Grayscale*.

Jika masing-masing warna memiliki range 0-255, maka totalnya adalah $255^3 = 16 \text{ K}$ variasi warna berbeda pada tiap *pixel* gambar. pada Gambar 3.13 terlihat bentuk pola interferensi yang ditangkap kamera, n_x merupakan jumlah *pixel* pada sumbu x dan n_y merupakan jumlah *pixel* pada sumbu y . Pada penelitian ini blok diagram proses merubah nilai RGB menjadi nilai *grayscale* pola interferensi diperlihatkan pada Gambar 3.14.

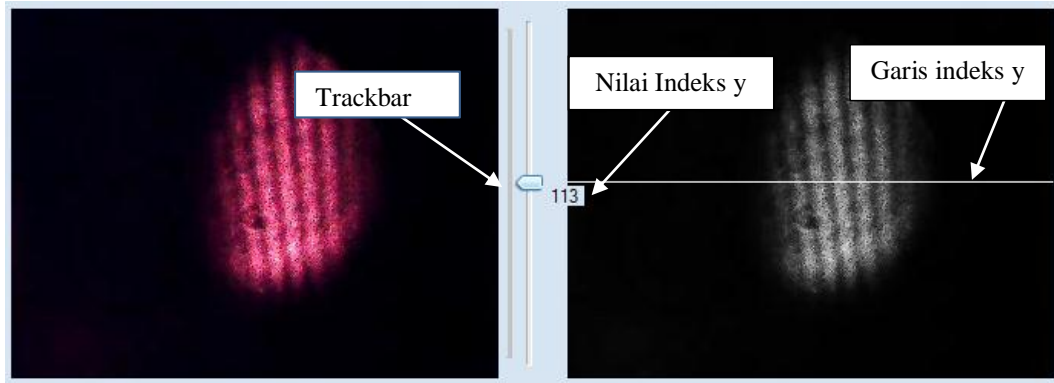
Adapun persamaan untuk merubah nilai RGB ke *grayscale* dijelaskan pada Persamaan 3.2,

$$Gray_{(x,y)} = \frac{R_{(x,y)} + G_{(x,y)} + B_{(x,y)}}{3} \quad (3.2)$$

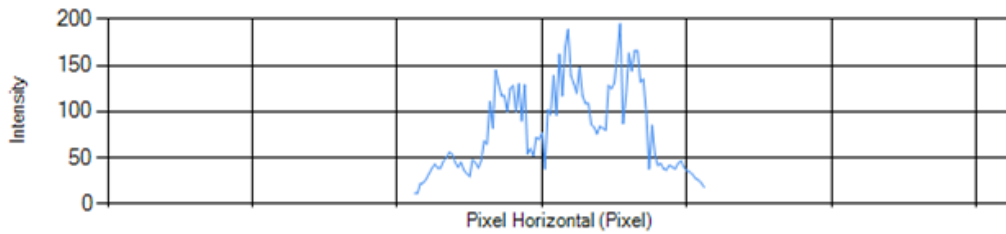
dimana $Gray_{(x,y)}$ adalah nilai intensitas skala keabuan pada koordinat *pixel* (x,y) , $R_{(x,y)}$ adalah nilai *pixel* merah pada koordinat *pixel* (x,y) , $G_{(x,y)}$ adalah nilai *pixel* hijau pada koordinat *pixel* (x,y) , dan $B_{(x,y)}$ adalah nilai *pixel* biru pada koordinat *pixel* (x,y) .

3.7 Filter Average

Setelah perubahan nilai RGB ke *grayscale* dilakukan, langkah selanjutnya adalah menentukan indeks *y pixel* dengan mengatur posisi *trackbar* pada aplikasi seperti terlihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Pengaturan Koordinat Indeks y.



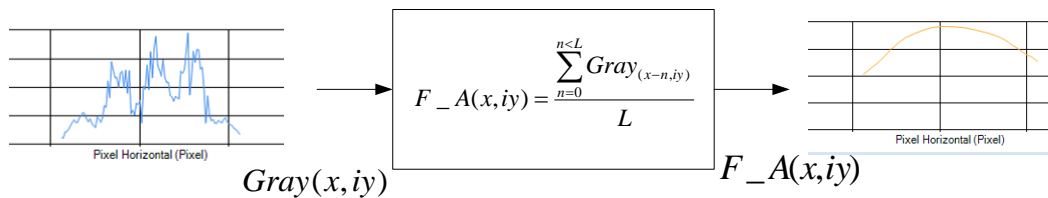
Gambar 3.16 Nilai *Grayscale* pada Garis Indeks y.

Proses selanjutnya menggambarkan nilai intensitas *grayscale* pada *chart* dimana nilai *x* nya adalah panjang *pixel* horizontal dan *y* nya adalah nilai intensitas *grayscale* pada *y* indeks, seperti pada Gambar 3.16.

Nilai *grayscale* pembacaan pola interferensi membentuk pola dan *noise* yang cukup besar, maka dari itu dibutuhkan *filter* untuk menghaluskan *noise* tersebut. filter *average* mampu meredam *noise* yang bagus pada pola interferensi. Adapun persamaan filter *average* dijelaskan pada Persamaan 3.3,

$$F_A(x, iy) = \frac{\sum_{n=0}^{n=L} Gray_{(x-n, iy)}}{L} \quad (3.3)$$

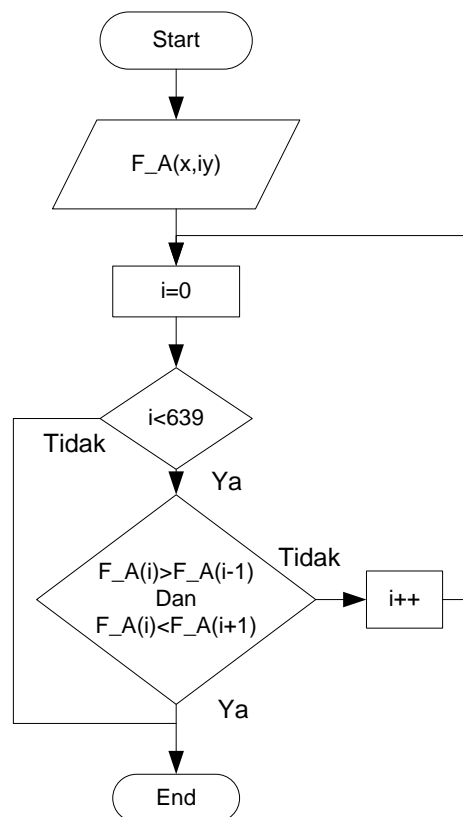
dimana F_A adalah hasil filter, x adalah indeks pixel x dari nilai 0-640, L adalah panjang data yang akan di filter. Pada Gambar 3.17 bagaimana diagram blok hasil filter. Pada hasil proses filter *average* membentuk pola yang nilai maksimumnya dapat diketahui. Nilai maksimum hasil rata-rata inilah yang akan jadi titik pengamatan pergeseran.



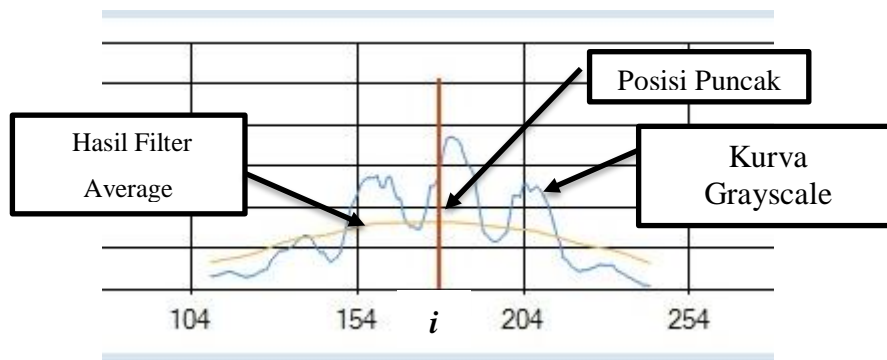
Gambar 3.17 Blok Diagram Proses Filter *Average*.

3.8 Nilai *Average* Maksimum

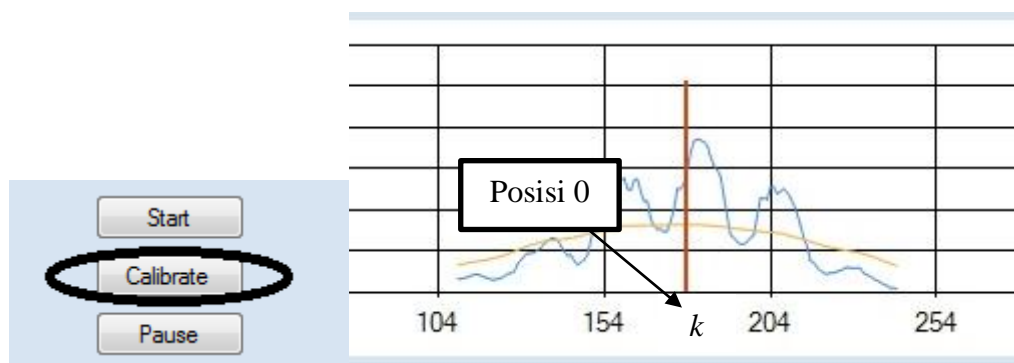
Nilai maksimum dari hasil filter *average* dijadikan sebagai titik koordinat pusat pergeseran, adapun proses untuk mencari nilai puncak maksimum filter *average* seperti terlihat pada diagram alir Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Diagram Alir Mencari Nilai Puncak Rata-rata.



Gambar 3.19 Ilustrasi Mendapatkan Koordinat i Nilai *Average* Maksimum.

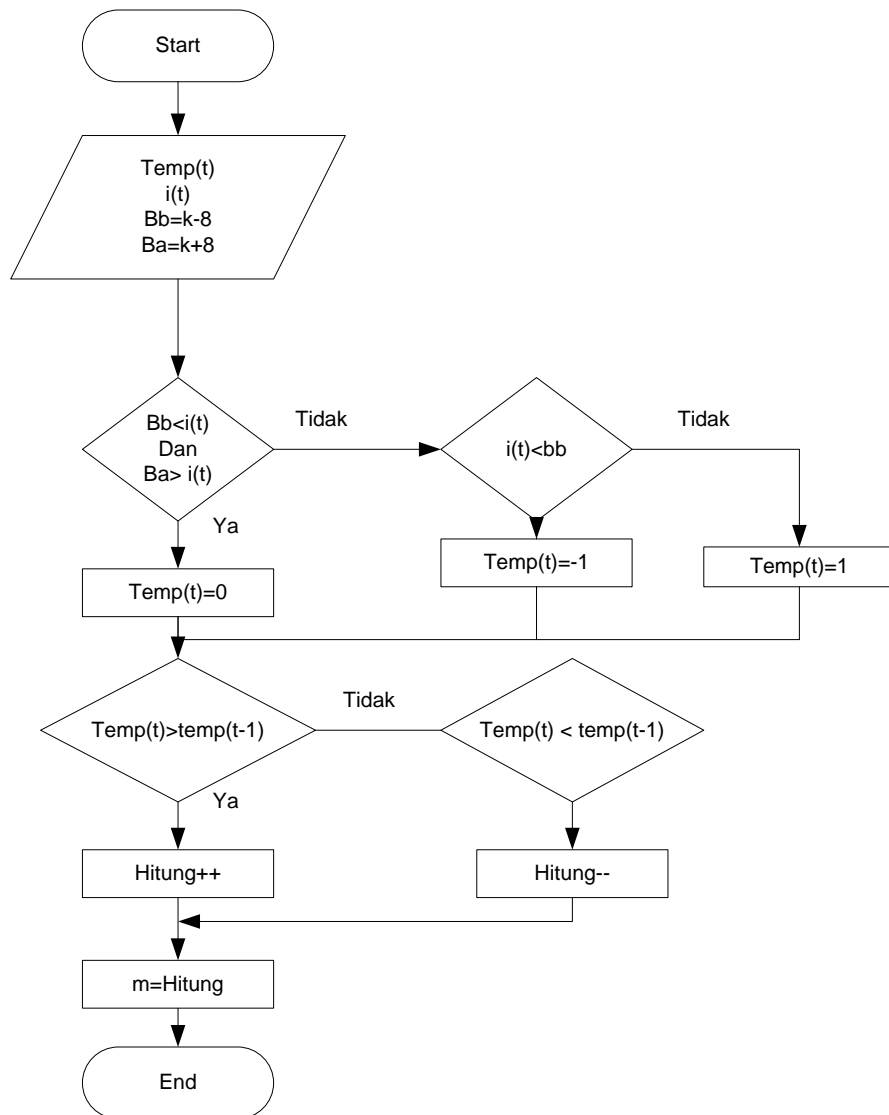


Gambar 3.20 Kalibrasi Titik 0 Pengukuran.

Untuk mendapatkan nilai titik 0 pengukuran, yaitu dengan menandai menggunakan *button click* yang berfungsi sebagai kalibrasi titik nol pengukuran, posisi 0 merupakan variabel k seperti pada Gambar 3.20. Ilustrasi mendapatkan nilai koordinat i average maksimum diperlihatkan pada Gambar 3.19. Nilai koordinat i puncak maksimum akan bergeser seiring pergeseran pola interferensi.

3.9 Menghitung Pergeseran Fase

Penentuan pergeseran fase dalam satuan panjang akan didapatkan dari hasil konversi pergeseran seperti pada Persamaan 3.4. Jumlah pergeseran yang dihitung dengan menentukan batas atas dan batas bawah pergeseran seperti terlihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Diagram Alir Menghitung Pergeseran Fase.

Jumlah pergeseran dihitung menjadi bilangan bulat $m=1,2,3\dots$ (nilai positif atau negatif). Peristiwa itu akan menandakan pergeseran maksimum dari setengah panjang gelombang laser. Untuk bilangan bulat $m=1$ berarti jika menggunakan laser merah dengan panjang gelombang 620 nm berarti pergeseran gelombang adalah sejauh 310 nm. Adapun persamaan untuk mengkonversi pergeseran dari bilangan bulat ke satuan panjang gelombang dijelaskan pada Persamaan 3.4,

$$\Delta m = \frac{\lambda}{2} m \quad (3.4)$$

dimana Δm adalah pergeseran dalam satuan panjang, m adalah hasil perhitungan pergeseran dalam bilangan bulat, λ adalah panjang gelombang laser.

3.10 Regresi Linier

Proses penentuan tingkat konsentrasi gas dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi, dimana berdasarkan data pengukuran nilai Δm berbanding lurus dengan peningkatan nilai konsentrasi. Untuk menentukan nilai konsentrasi sebagai fungsi dari pergeseran fase maka digunakan regresi linier dengan Persamaan 3.5 berikut,

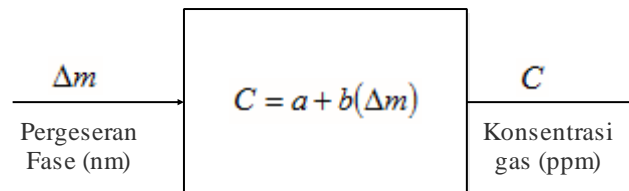
$$Y = a + b(X) \quad (3.5)$$

dimana Y adalah variabel terikat, a adalah intersep (konstanta), b adalah koefisien regresi (*slop*), dan X adalah variabel bebas. Untuk mendapatkan nilai a dan b digunakan Persamaan (3.6) dan Persamaan (3.7) berikut,

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (3.6)$$

$$a = \bar{Y} - b.\bar{X} \quad (3.7)$$

dimana n adalah banyaknya data, \bar{Y} adalah jumlah keseluruhan nilai Y dibagi banyak data, \bar{X} adalah jumlah nilai X dibagi banyak data. Adapun blok diagram penentuan tingkat konsentrasi gas diperlihatkan pada Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Blok Diagram Pengukuran Konsentrasi Gas.

3.11 Desain User Interface

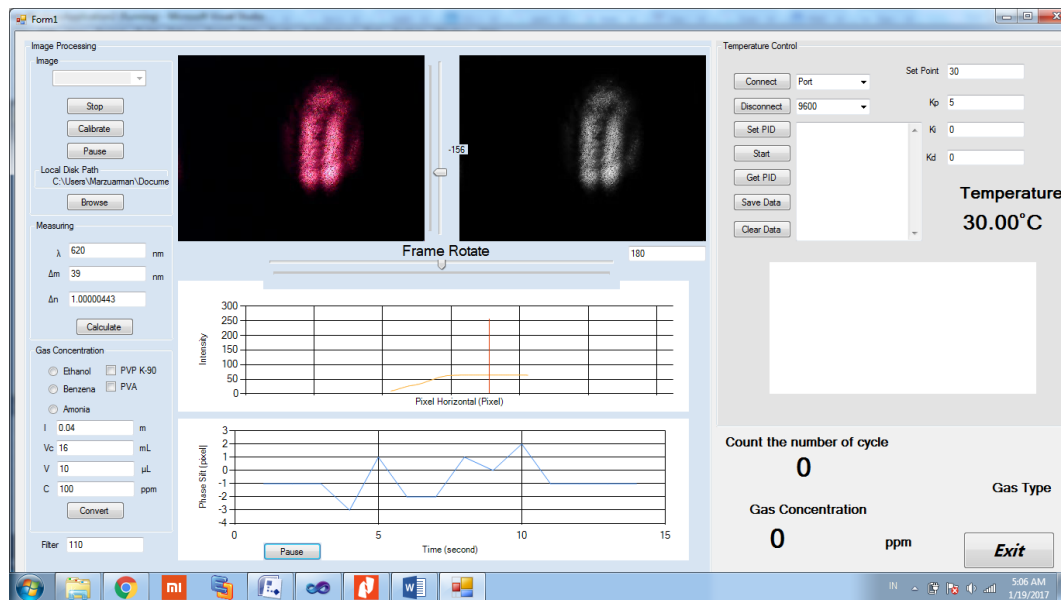
Desain interface dibuat menggunakan dengan menggunakan bahasa pemrograman visual basic dengan penambahan komponen pengolahan citra menggunakan open source *emgucv*. Pada desain interface yang dibuat terdiri dari beberapa komponen dan blok desain yang mempunyai fungsi masing-masing, diantaranya menggunakan komponen *picturebox* sebagai penampil gambar. Serta menggunakan *chart* untuk melihat grafik pergeseran fase dan pengamatan pergeseran. Selain itu juga menggunakan beberapa *label* untuk membaca hasil pengukuran diantaranya membaca pengukuran dari sensor suhu, pembacaan konsentrasi gas dan pergeseran fase. Pada *user interface* juga digunakan komponen *button* yang fungsinya akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Tombol *start* berfungsi untuk memulai melakukan pengukuran konsentrasi gas
2. Tombol *calibrate* berfungsi untuk menentukan posisi 0 pada posisi puncak pergeseran
3. Tombol *pause* berfungsi untuk memberhentikan sementara pengukuran
4. Tombol *calculate* untuk menjalankan pengukuran indeks bias dan pergeseran
5. Tombol *convert* berfungsi untuk mengkonversi satuan konsentrasi dari μL menjadi ppm.

Pada interface juga di desain untuk mengontrol suhu menggunakan kontrol PID. Adapun fungsi dari *button* pada *interface* kontrol PID adalah sebagai berikut.

1. Tombol *connect* dan *disconnect* berfungsi untuk mengkoneksikan dan memutuskan koneksi dengan komunikasi serial Arduino Nano.
2. Tombol *SetPID* berfungsi untuk mengatur nilai *setpoint*, *kp*, *ki*, *kd* serta mengirim data tersebut ke Arduino.
3. Tombol *start* berfungsi untuk memulai dilakukan pengontrolan suhu.
4. Tombol *save data* berfungsi menyimpan data hasil pengukuran.

Konsentrasi gas dan pergeseran fase yang terukur akan ditampilkan pada bagian sudut kanan bawah aplikasi. Adapun bentuk gambar hasil desain user interface diperlihatkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Desain Interface Pengukuran Konsentrasi Gas.

3.12 Prosedur Pengambilan Data

Perubahan ketebalan polimer dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi, suhu, dan kelembaban. Pengamatan dilakukan dengan menghitung pergeseran frinji (Δm) yang terjadi pada layar.

Proses pengambilan data pengukuran konsentrasi gas atau pelarut organik menggunakan interferometer Michelson terdiri dari beberapa tahap yaitu:

1. Pengujian dan pengambilan data pengaruh konsentrasi gas terhadap pergeseran frinji pada wadah sampel menggunakan polimer.
 - a. Pengujian dilakukan dengan menyuntikkan konsentrasi gas sampel atau pelarut organik pada chamber sampel, kemudian diamati pergeseran frinji yang dihasilkan berdasarkan jenis polimer yang berbeda-beda.
 - b. Konsentrasi gas atau pelarut organik yang diujikan yaitu 3 μL , 5 μL , 7 μL , 9 μL dan 11 μL .
 - c. Pengaturan konsentrasi gas dilakukan dengan menghitung takaran gas sampel yang diujikan dengan menggunakan mikroliter, kemudian dikonversi ke ppm dan sampel gas disuntikkan pada lubang injeksi pada chamber sampel.
2. Pengujian dan pengambilan data pengaruh perubahan suhu pada chamber sampel terhadap pergeseran frinji.

- a. Pengujian dilakukan dengan mengatur suhu pada wadah pengujian, kemudian diamati pergeseran frinji dan karakteristik masing-masing polimer.
 - b. Suhu sampel yang diujikan yaitu 35°C, 45°C, dan 55°C.
 - c. Kontrol suhu dilakukan oleh *PID controller*.
3. Pengujian Pengukuran konsentrasi gas menggunakan interferometer.
- a. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai konsentrasi yang sama, kemudian dilakukan pengukuran sebanyak 5 kali.
 - b. Nilai konsentrasi yang disuntikkan yaitu 5 μ L atau tergantung dari nilai konsentrasi masing-masing jenis gas.
 - c. Kemudian hasil pengukuran dibandingkan dengan teori dan nilai *error* dihitung.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian dan analisa terhadap hasil perancangan dan pembuatan sistem pada bab sebelumnya. Adapun pengujian yang dilakukan terdiri dari :

1. Pengujian hasil pola frinji interferometer
2. Kalibrasi pergeseran fase
3. Pengujian kontrol suhu
4. Pengujian perhitungan pergeseran fase interferensi dengan *software*
5. Pengujian interferometer sensor dengan perubahan konsentrasi gas
6. Pengujian interferometer sensor terhadap perubahan suhu
7. Membandingkan sensitivitas masing-masing jenis polimer
8. Perhitungan regresi linier untuk mengukur konsentrasi gas
9. Pengujian dan kalibrasi konsentrasi gas

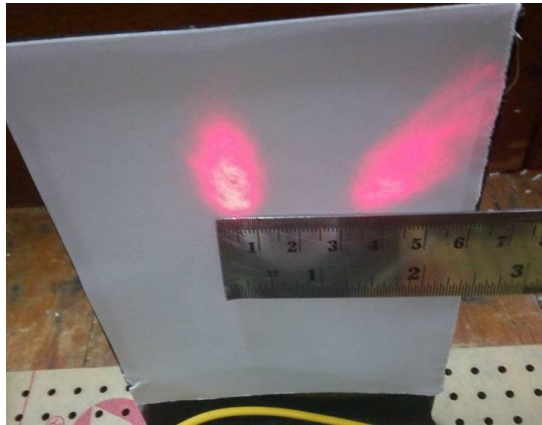
4.1 Pengujian Hasil Pola Frinji Interferometer

4.1.1 Tujuan pengujian

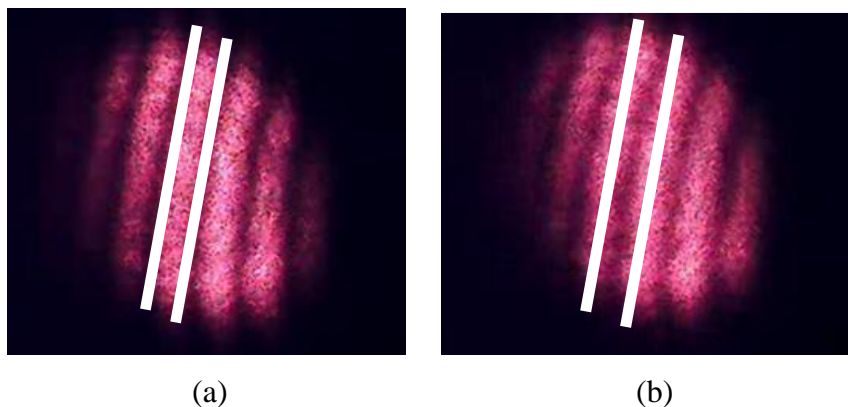
Pengujian ini bertujuan untuk melihat pola yang dihasilkan interferometer dan mengamati tiap bentuk pola ketika melewati medium dengan ketebalan tertentu. Selain itu pengujian dilakukan untuk mengamati pola interferensi terhadap perubahan sudut arah cermin interferometer.

4.1.2 Prosedur Pengujian

Proses dalam pengujian ketebalan ini adalah dengan melewatkan sinar laser pada suatu medium dengan ketebalan tertentu pada salah satu sisi cermin interferometer, kemudian pola interferensi diamati dan jarak terang gelap diukur. Pada pengujian kepresisian sudut interferometer, prosesnya yaitu dengan memutar sudut salah satu cermin interferometer dan pola interferensi diamati, proses pengamatan dan pengukuran jarak frinji diperlihatkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Proses Pengukuran Jarak dan Pergeseran Frinji.



Gambar 4.2 Pengamatan Pergeseran Frinji (a). Sebelum Terjadi Pergeseran (b). Setelah Terjadi Pergeseran.


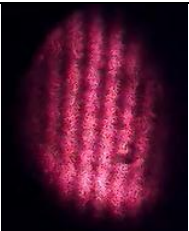
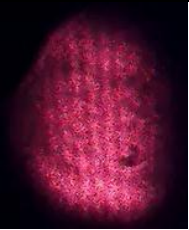

4.1.3 Hasil dan Analisa Pengujian

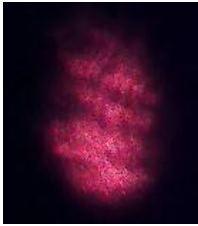
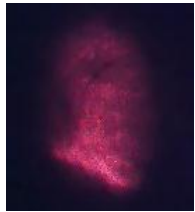
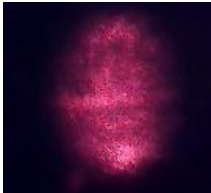
Pengujian dilakukan dengan menggunakan medium uji dengan ketebalan yang berbeda. Medium diletakkan pada salah satu sisi cermin interferometer dan pengukuran jarak dan pergeseran pola dilakukan dengan menggunakan mistar. Berdasarkan hasil pengukuran, akrilik dengan tebal 5mm lebih menghasilkan jarak frinji yang lebih sempit dibandingkan dengan yang lain, yaitu dengan jarak sebesar 3mm, dan polimer dengan ketebalan $37\mu\text{m}$ tidak menghasilkan pola interferensi.

Berdasarkan hasil pengamatan memperlihatkan medium dengan ketebalan tertentu yang memiliki permukaan lapisan yang datar pembiasannya lebih kecil dibandingkan dengan medium yang permukaan yang tidak datar seperti pada polimer, sehingga pola interferensi yang terjadi pada polimer tidak terlihat. Pada

medium yang tingkat ketebalannya tinggi menghasilkan pola interferensi yang lebih sempit dan lebih banyak dari medium yang tipis. Hal ini dikarenakan karena besarnya indeks bias dipengaruhi oleh ketebalan, semakin tebal medium maka indeks biasnya akan semakin besar. Adapun hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 4.1.

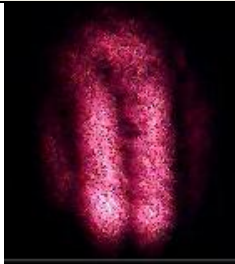
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Interferometer dengan Ketebalan Medium Pengujian Berbeda.

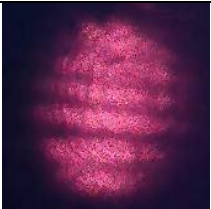

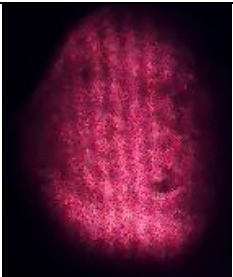

Medium	Jarak Pola Interferensi (mm)	Bentuk Pola	Keterangan
Kaca Tebal 1 mm	7		Pola terlihat
Akrilik Tebal 3 mm	4,5		Pola terlihat
Akrilik Tebal 5 mm	3		Pola terlihat
Polimer PVA tebal 4 μ m	10		Pola terlihat

Polimer PVA tebal 12 μm	7		Pola terlihat
Polimer PVA tebal 23 μm	-		Pola tidak terlihat
Polimer PVA tebal 37 μm	-		Pola tidak terlihat

Berdasarkan hasil pengujian perubahan arah sudut cermin menunjukkan bahwa setiap pergeseran sudut mempengaruhi banyaknya pola interferensi yang dihasilkan, pada perubahan sudut 5° pola interferometer tidak terlihat karena sisi cermin sudut geser sudah tidak berada pada satu lintasan dengan cermin referensi. Adapun data dan bentuk pola terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kepresisian Sudut Interferometer.

Sudut	Jarak pola interferometer (mm)	Bentuk Pola	Keterangan
0°	10		Pola terlihat

1°	7		Pola terlihat
2°	3		Pola terlihat
3°	2		Pola terlihat
4°	-		Pola tidak terlihat

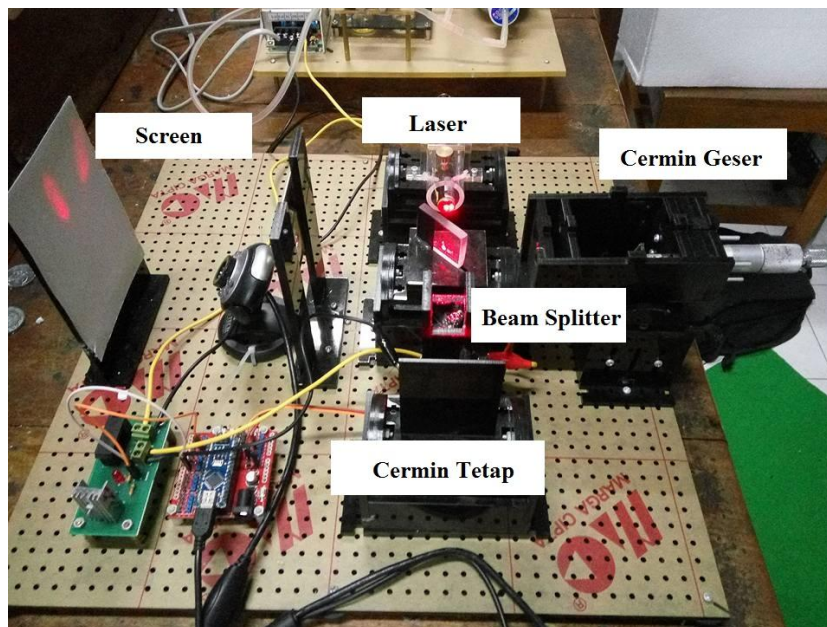
4.2 Kalibrasi Pergeseran Fase

4.2.1 Tujuan Kalibrasi Pergeseran Fase

Kalibrasi adalah proses verifikasi bahwa suatu akurasi alat ukur sesuai dengan rancangannya. Tujuan dari kalibrasi pergeseran fase adalah untuk mendapatkan hasil pengukuran dengan standar yang lebih teliti, Menentukan deviasi kebenaran nilai konvensional dan menjamin hasil pengukuran sesuai standar. Dengan membandingkan pergeseran fase terhadap perubahan lintasan dengan alat ukur mikrometer sekrup.

4.2.2 Prosedur Kalibrasi

Proses kalibrasi dilakukan dengan cara memutar mikrometer sekrup dengan nilai yang ditentukan, yaitu pada kelipatan $2\mu\text{m}$, kemudian diamati dan dihitung pergeseran fase yang terjadi.

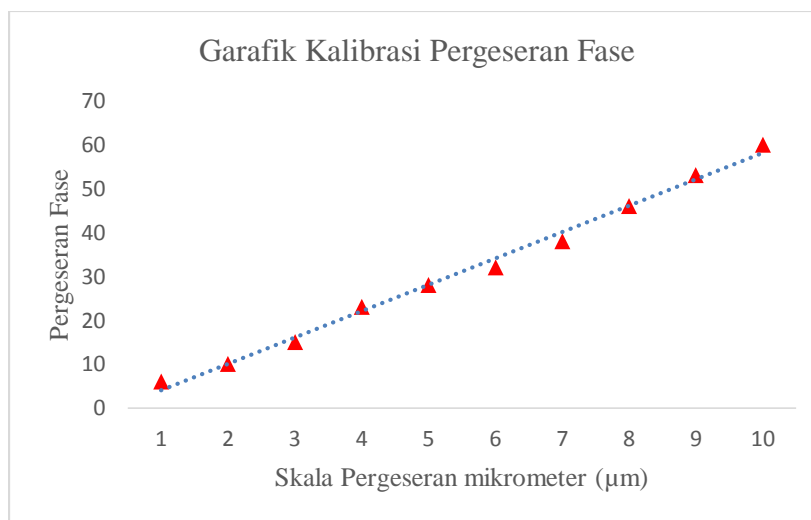


Gambar 4.3 Perangkat Keras Untuk Kalibrasi Pergeseran Fase.

Kalibrasi ini juga dapat menentukan atau menghitung panjang gelombang sumber cahaya dengan membalikkan Persamaan 2.3. Jika panjang lintasan diubah atau diperpanjang maka pergerakan pergeseran fase akan bergerak ke kiri, jika panjang lintasan diperpendek maka pergeseran fase akan bergerak ke kanan. Adapun mekanik proses kalibrasi interferometer untuk menghitung pergeseran fase diperlihatkan pada Gambar 4.3.

4.2.3 Hasil dan Analisa

Berdasarkan hasil percobaan kalibrasi pergeseran fase dengan pergeseran beda lintasan optik dengan menggunakan mikrometer menunjukkan grafik yang linier, dengan nilai regresi sebesar $y=5,33777x+1,0225$ dengan nilai slope sebesar 0,9922. Percobaan menunjukkan skala mikrometer dan jumlah pergeseran fase hampir menunjukkan sama dengan nilai slope yang sangat kecil. Sehingga interferometer sudah bisa digunakan sebagai alat pengukuran konsentrasi gas. Adapun hasil grafik kalibrasi pergeseran fase diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Kalibrasi Pergeseran Fase

4.3 Pengujian Kontrol Suhu

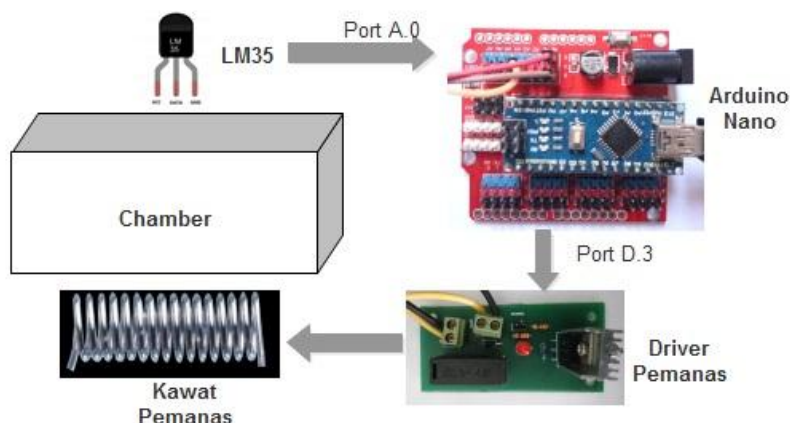
4.3.1 Tujuan Pengujian Kontrol Suhu

Kontrol suhu merupakan hal terpenting didalam sistem. Kontrol suhu berfungsi untuk mengendalikan suhu pada chamber sampel interferometer. Apabila kontrol suhu tidak berfungsi dengan baik maka dapat mempengaruhi hasil pengujian sensor terhadap gas. Hal terpenting didalam sistem kontrol suhu adalah sensor suhu. Apabila sensor suhu berkerja dengan baik, maka proses pengendalian suhu juga akan berjalan dengan baik.

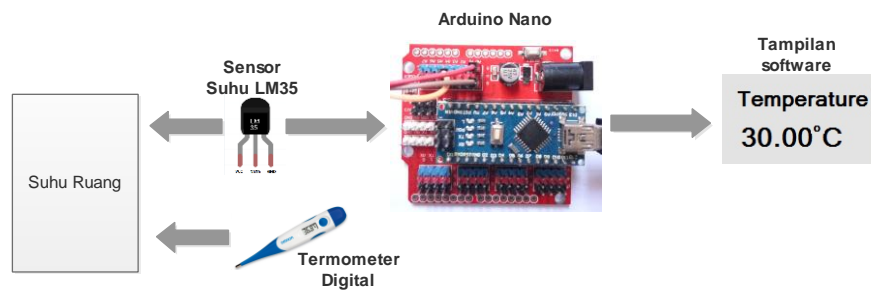
4.3.2 Prosedur Pengujian

Pengujian terlebih dahulu dilakukan terhadap sensor suhu LM35. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan kaki data LM35 ke Port.0 (ADC.0) pada Arduino Nano. Kemudian mengamati dan membandingkan nilai yang muncul pada komunikasi serial dengan nilai yang muncul pada termometer digital. Skema pengujian sensor suhu LM35 dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Selanjutnya pengujian terhadap kontrol suhu. Pengujian dilakukan dengan cara memberi set-point suhu 35°C, 45°C, 55°C. Kemudian mengamati respon suhu terhadap pergeseran pola frinji. Sekema pengujian kontrol suhu dapat dilihat pada Gambar 4.5.



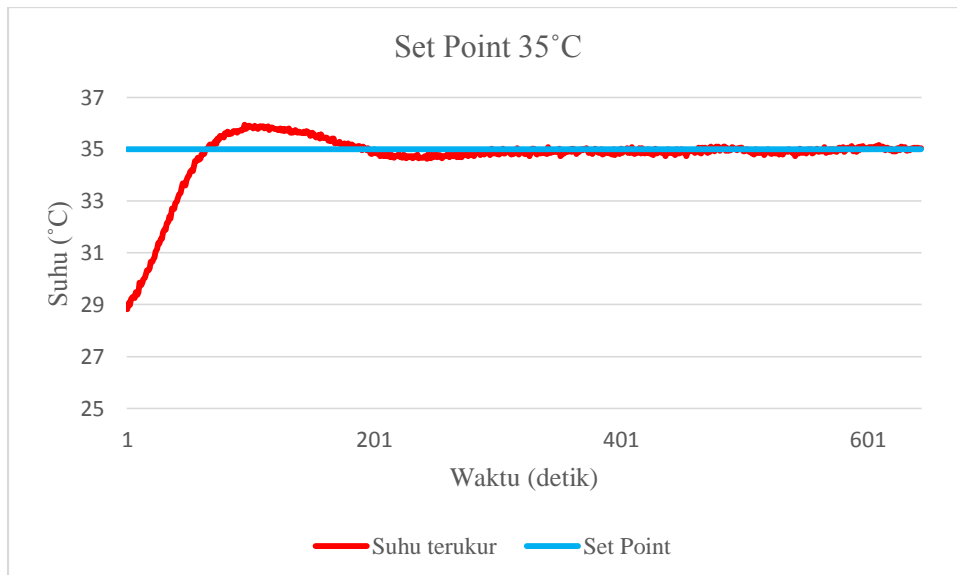
Gambar 4.5 Skema Pengujian Kontrol Suhu.



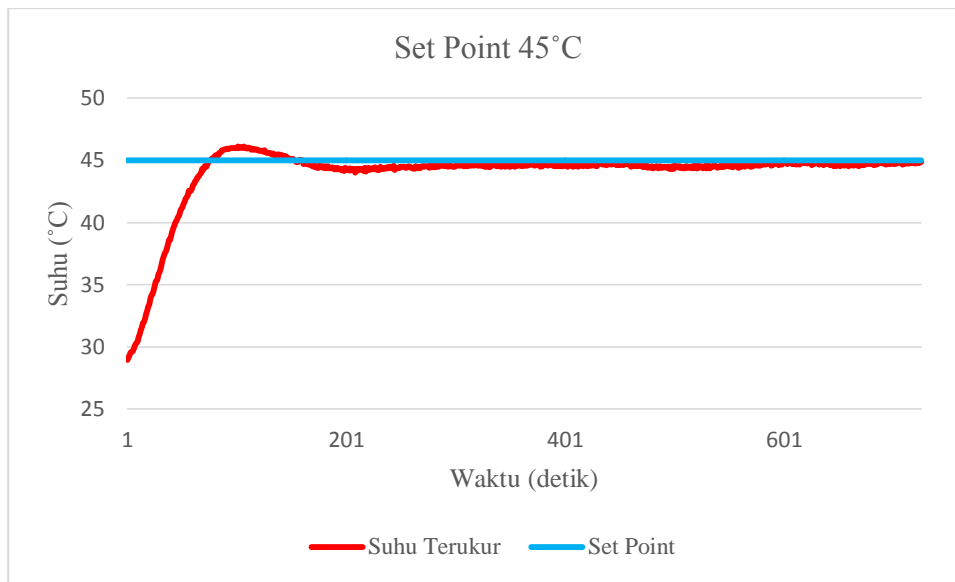
Gambar 4.6 Skema Pengujian Sensor LM35.

4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa

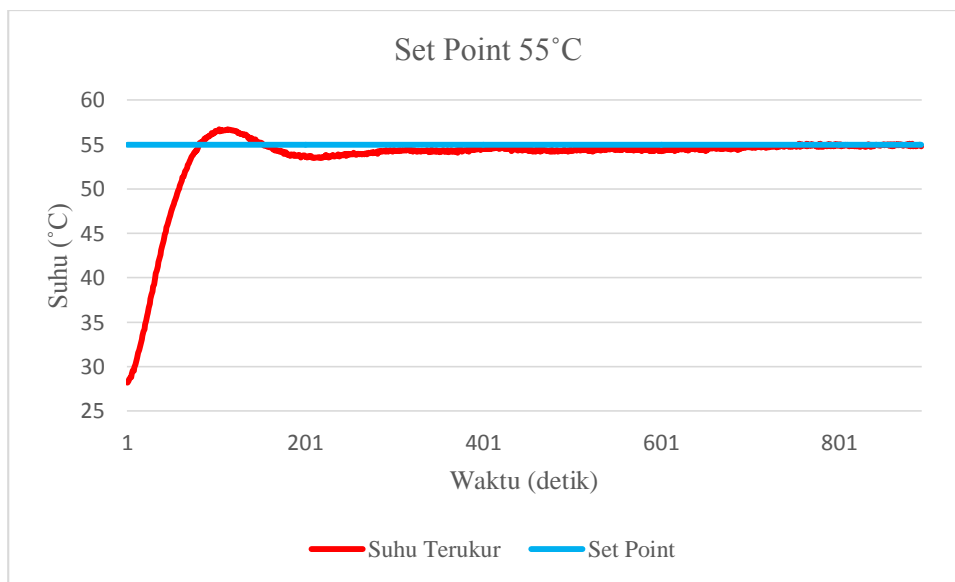
Berdasarkan hasil pengukuran suhu dengan LM35 menunjukkan selisih yang sangat kecil dengan suhu pada termometer. Hasil pengujian terhadap kontrol suhu menunjukkan hasil yang baik. Untuk *setpoint* 35°C dibutuhkan *settling time* selama 58 detik, pada *setpoint* 45°C dibutuhkan *settling time* selama 60 detik dan pada *setpoint* 55°C dibutuhkan *settling time* selama 70 detik. Adapun hasil kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 4.7.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.7 Grafik respon suhu (a). Set Point 35°C (b). Set Point 45°C (c). Set Point 55°C.

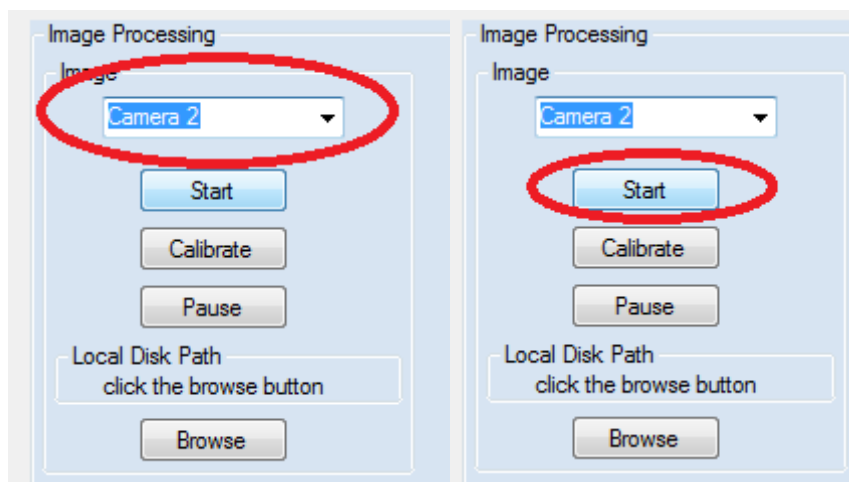
4.4 Pengujian Perhitungan Pergeseran Fase Interferensi dengan *Software*

4.4.1 Tujuan Pengujian

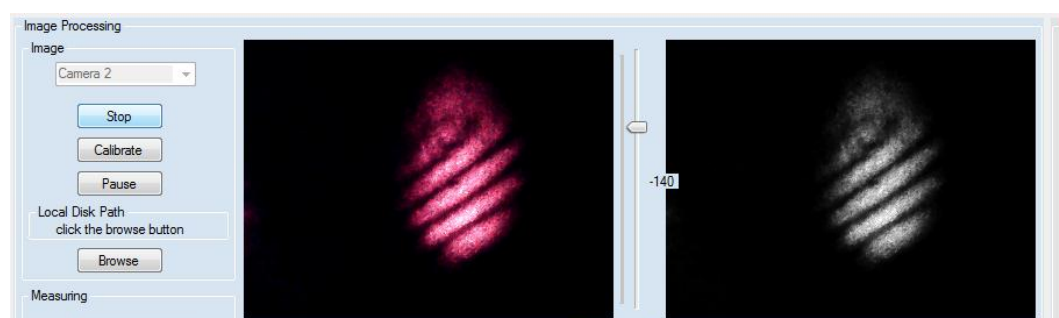
Perhitungan pergeseran fase menggunakan *software* bertujuan untuk mempermudah dan mempercepat serta untuk mendapatkan hasil pengukuran yang presisi.

4.4.2 Prosedur Pengujian

1. Buka aplikasi
2. Buka dan pilih akses kamera yang digunakan untuk merekam seperti Gambar 4.8, setelah interferensi terlihat pada layar, maka setelah itu sampel gas disuntikkan kedalam chamber dan pengukuran dimulai dengan klik tombol start dan aplikasi akan berjalan.
3. Setelah beberapa menit pengukuran maka akan terlihat beberapa pergeseran fase seperti terlihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Prosedur Akses Kamera pada Aplikasi.

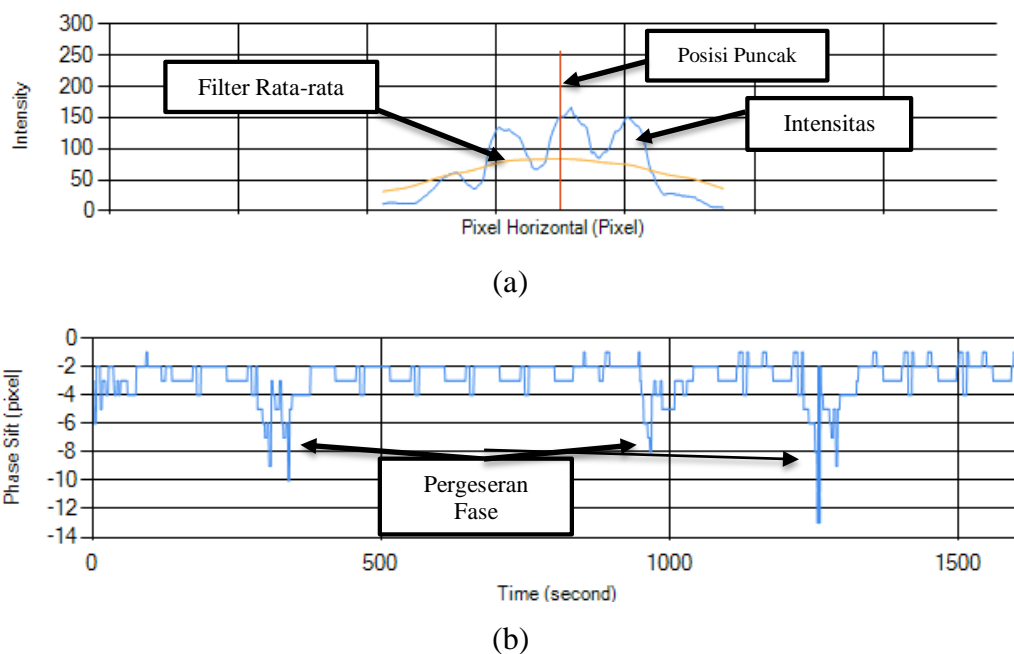


Gambar 4.9 Pola Interferensi yang Terekam Kamera.

4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai intensitas frinji memiliki pola seperti pada Gambar 4.10(a), berdasarkan pola tersebut jarak puncak ke puncak dan pergeseran dapat dihitung. Pola tersebut difilter menggunakan filter rata-rata sehingga didapat posisi puncak dari nilai intensitas. Posisi puncak pola akan bergeser tiap *pixel* jika terjadi pergeseran pola interferensi, dan pergeseran pola tertinggi akan menurun secara drastis sehingga kembali lagi ke posisi awal dan program mulai menghitung pergeseran, pergeseran ini dinamakan pergeseran setengah panjang gelombang (terang-gelap-terang).

Berdasarkan hasil pengujian *software*, pengukuran bergantung intensitas dan jarak frinji, jika jarak frinji semakin kecil maka batas pergeseran *pixel* juga semakin kecil. Pada Gambar 4.10(b) terlihat batas pergeseran setengah panjang gelombang hingga 7 *pixel*.



Gambar 4.10 Grafik Pengamatan Pergeseran Menggunakan Software (a). Intensitas pada Garis Horizontal (b). Perhitungan Pergeseran fase.

Berdasarkan Gambar 4.10(b) terjadi 6 siklus pergeseran terang-gelap, jika menggunakan panjang gelombang 620 nm maka pergeseran gelombang yang terjadi adalah sejauh 1860 nm.

4.5 Pengujian Interferometer Sensor Terhadap Perubahan Konsentrasi Gas

4.5.1 Tujuan Pengujian

Pengujian pengaruh perubahan pola frinji pada interferometer terhadap perubahan konsentrasi gas bertujuan untuk mengamati respon polimer terhadap gas yang menyebabkan pergeseran atau perubahan pola interferensi, sehingga nantinya interferometer bisa di manfaatkan sebagai sensor gas.

4.5.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara menyuntikkan cairan sampel gas ke dalam chamber melalui lubang injeksi. Gas yang diujikan adalah jenis pelarut organik amonia, alkohol dan bensin, dengan variasi konsentrasi yang ujikan adalah 3 μ L, 5 μ L, 7 μ L, 9 μ L, dan 11 μ L. Perlakuan yang sama juga dilakukan pada masing-masing chamber yang jenis polimernya berbeda, kemudian hasil pengujian dengan *software* dibandingkan dengan pengukuran sacara manual.

Setelah sampel gas disuntikkan, kemudian pergeseran frinji dihitung dan direkam melalui *software* yang telah dibuat.

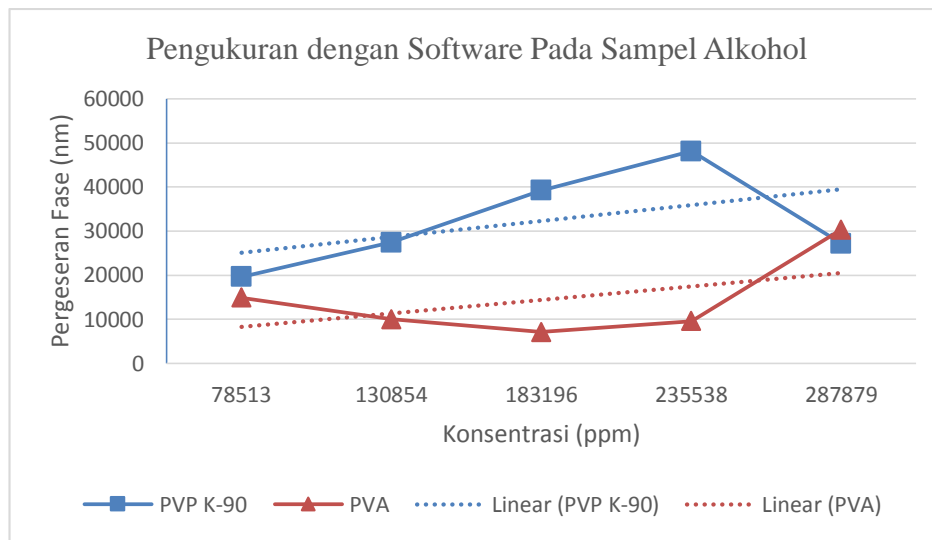
4.5.3 Hasil Pengujian dan Analisa Data

Adapun hasil pengujian pada percobaan menggunakan sampel gas alkohol, bensin dan amonia adalah sebagai berikut.

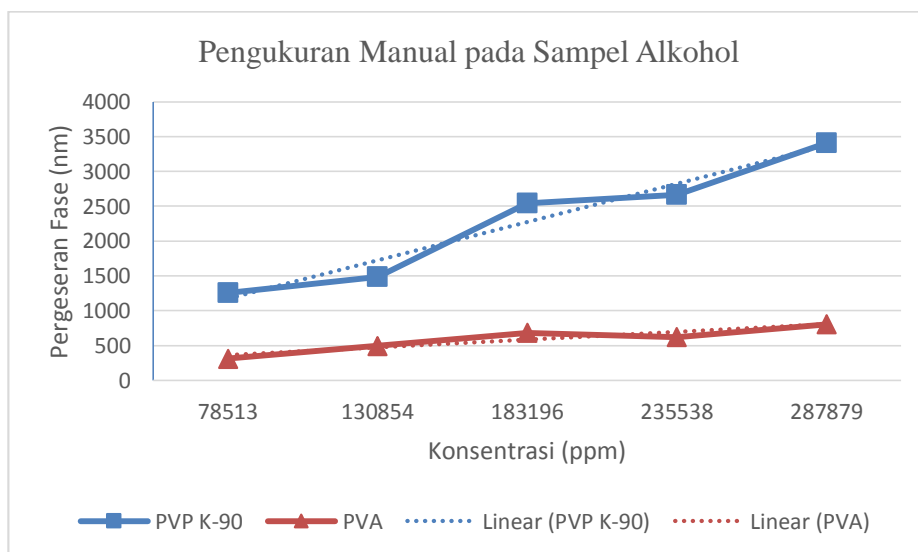
4.5.3.1 Hasil Pengujiam Sampel Alkohol

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan sampel alkohol menunjukkan perbandingan pengukuran menggunakan *software* dan secara manual dengan persentase kesalahan terbesar 4503% pada pengukuran konsentrasi 78513 ppm menggunakan polimer jenis PVA, sedangkan persentase terkecil adalah 306% pada konsentrasi 78153 ppm dengan jenis polimer PVP K-90. Selain itu grafik menunjukkan linieritas pada pengujian secara manual dengan *slop* sebesar 0,9494

pada polimer PVP dan 0,871 pada polimer PVA. Adapun data hasil pengukuran sampel alkohol diperlihatkan pada Tabel 4.3, dan grafik hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4.11. Hasil menunjukkan perbedaan yang sangat jauh terjadi dikarenakan pada saat terjadi interfensi dari luar *software* mengalami *error* saat pembacaan sehingga hasil yang yang didapatkan tidak sesuai dengan pebandingan secara manual.



(a)



(b)

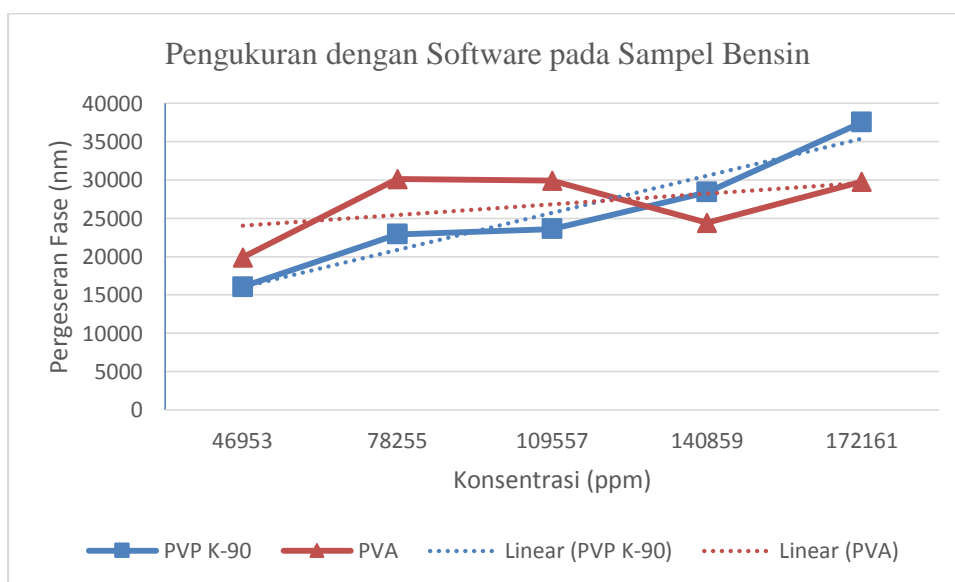
Gambar 4.11 Hasil Pengukuran Pergeseran Fase pada Sampel Alkohol (a). Menggunakan *Software* (b). Secara Manual.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Pada Sampel Alkohol

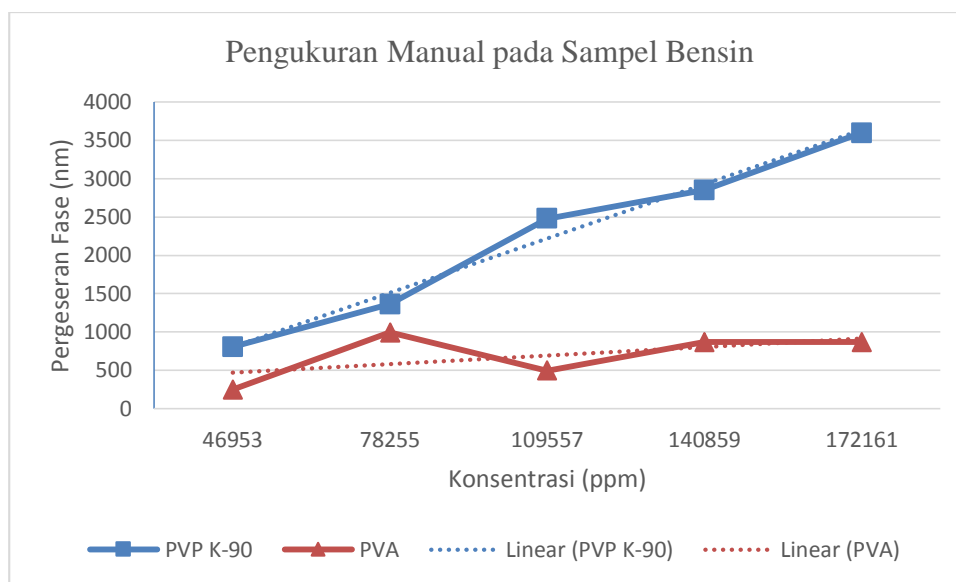
Konsentrasi (ppm)	Polimer	Pengukuran Software (nm)	linier	R ²	Pengukuran Manual (nm)	linier	R ²	Error (%)
78513	PVP K-90	19617.72	$y=3592.5x+21555$	0.2529	1255	$y=548.68x+626.28$	0.9494	306
130854		27425.61			1488			355
183196		39248.77			2542			997
235538		48159.72			2666			859
287879		27213.41			3410			2611
78513	PVA	14920.48	$y=3046.3x+5261.7$	0.2647	310	$y=111.6x+248$	0.871	4503
130854		10003.66			496			1520
183196		7139.333			682			364
235538		9571.55			620			923
287879		30368			806			2961

4.5.3.2 Hasil Pengujian Sampel Bensin

Hasil pengujian pengukuran pergeseran fase menggunakan sampel gas bensin menunjukkan perbandingan pergeseran fase dengan *software* dan secara manual dengan nilai *error* terbesar 7774% pada konsentrasi 46953 ppm dengan polimer jenis PVA. Sedangkan *error* terkecil sebesar 321% pada pengukuran konsentrasi 78255 ppm dengan polimer jenis PVP. Hasil menunjukkan linier dengan pengukuran secara manual dengan slop 0.981 pada polimer PVP dan 0.3241 pada polimer PVA. Adapun data hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 4.4 dan grafik hasil pengukuran diperlihatkan pada Gambar 4.12.



(a)



(b)

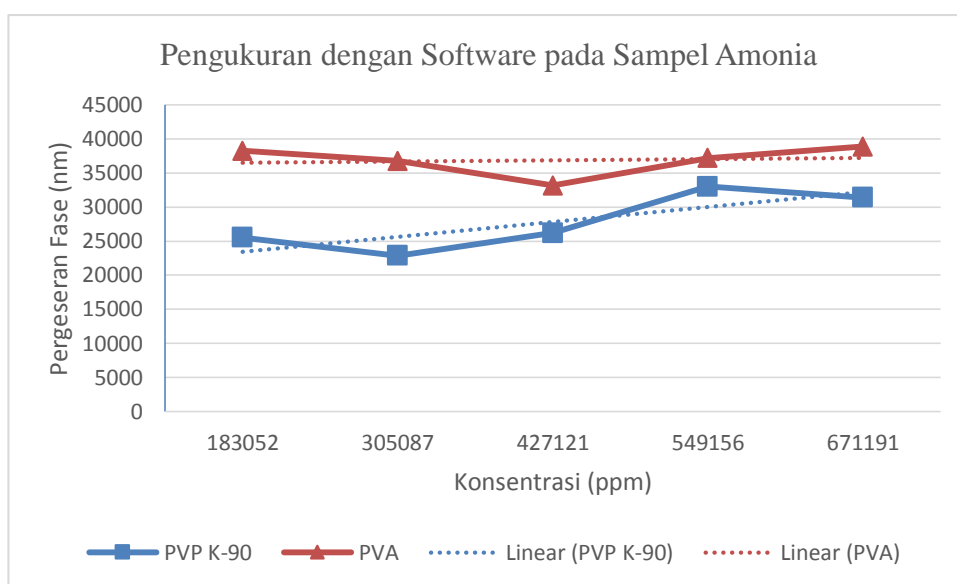
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Pergeseran Fase pada Sampel Bensin (a). Menggunakan *Software* (b). Secara Manual.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Pada Sampel Bensin.

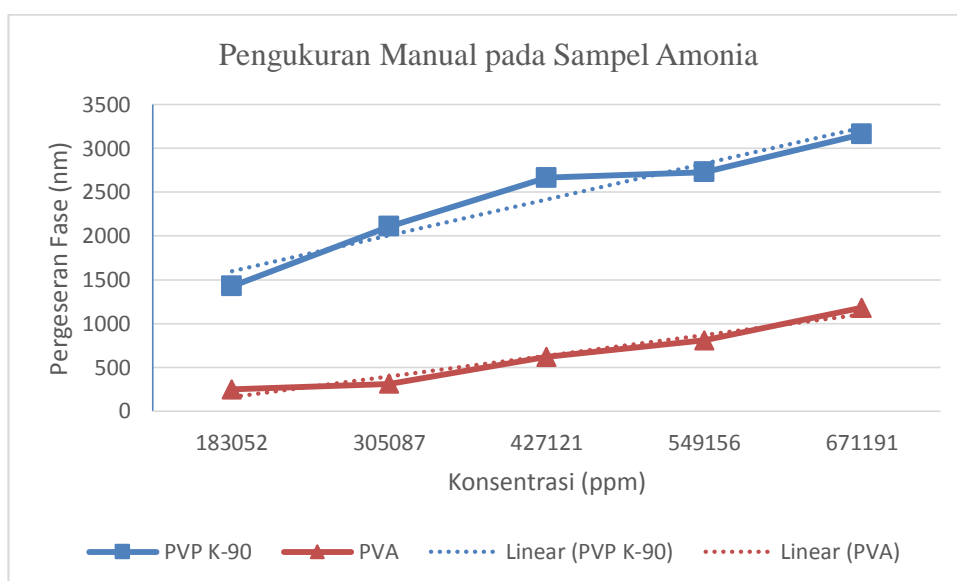
Konsentrasi (ppm)	Polimer	Pengukuran Software (nm)	linier	R ²	Pengukuran Manual (nm)	linier	R ²	Error (%)
46953	PVP K-90	16064	$y = 4841.1x + 11186$	0.9299	806	$y = 707x + 97.8$	0.9811	1187
78255		22924			1362			321
109557		23611			2478			1525
140859		28426			2852			1855
172161		37518			3596			2552
46953	PVA	19895	$y = 1404.3x + 22609$	0.2375	248	$y = 111.6x + 359.6$	0.3214	7774
78255		30127			992			2045
109557		29905			496			5533
140859		24399			868			1943
172161		29781			868			2563

4.5.3.3 Hasil Pengujian Sampel Amonia

Hasil pengujian pengukuran pergeseran fase menggunakan sampel gas amonia menunjukkan perbandingan pergeseran fase dengan *software* dan secara manual dengan nilai *error* terbesar 4727% pada konsentrasi 427121 ppm dengan polimer jenis PVA. Sedangkan *error* terkecil sebesar 364% pada pengukuran konsentrasi 183052 ppm dengan polimer jenis PVP.



(a)



(b)

Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Pergeseran Fase pada Sampel Amonia (a). Menggunakan *Software* (b). Secara Manual.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Pada Sampel Amonia.

Konsentrasi (ppm)	Polimer	Pengukuran Software (nm)	linier	R ²	Pengukuran Manual (nm)	linier	R ²	Error (%)
183052	PVP K-90	25531	$y = 2189.5x + 21239$	0.6641	1426	$y = 409.2x + 1190.4$	0.9348	364
305087		22880			2108			1022
427121		26198			2666			1683
549156		33019			2728			1517
671191		31409			3162			2168
183052	PVA	38268	$y = 166.2x + 36357$	0.0139	248	$y = 235.6x - 74.4$	0.9576	1518
305087		36767			310			1155
427121		33152			620			4727
549156		37207			806			3810
671191		38879			1178			2122

Hasil menunjukkan linier dengan pengukuran secara manual dengan slop 0.9348 pada polimer PVP dan 0.9576 pada polimer PVA. Adapun data hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 4.5 dan grafik hasil pengukuran diperlihatkan pada Gambar 4.13.

4.6 Pengujian Interferometer Terhadap Perubahan Suhu

4.6.1 Tujuan Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik respon Pergeseran fase terhadap perubahan suhu pada chamber. Dengan mengetahui respon tiap jenis polimer, maka dapat diketahui tingkat sensitifitas dari polimer tersebut.

4.6.2 Prosedur Pengujian

Suhu pada chamber dikontrol menggunakan kontrol PID setelah mencapai suhu *steady state*, maka lakukan pengukuran, setelah itu sampel gas disuntikkan pada chamber dengan konsentrasi 5 μ L kemudian dilakukan pengukuran kembali.

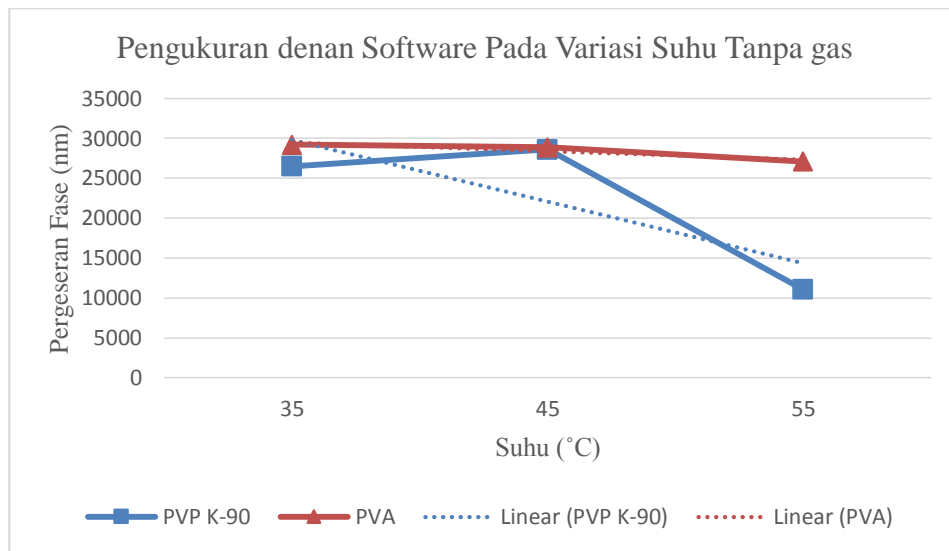
4.6.3 Hasil Pengujian dan Analisa Data

4.6.3.1 Hasil Pengujian Variasi Suhu Tanpa Gas

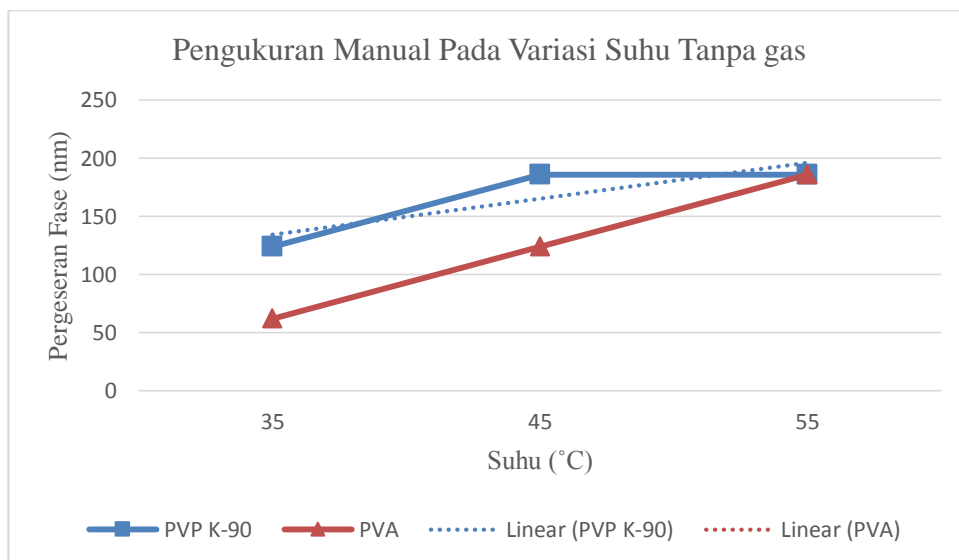
Hasil pengujian masing-masing polimer terhadap perubahan suhu menunjukkan repon yang berbeda-beda. Pada chamber sampel tanpa gas saat

dipanaskan mengalami ketidakstabilan untuk polimer jenis PVP, seperti terlihat pada Gambar 4.14, pengujian dilakukan dengan menggunakan software dan dengan cara manual.

Normalisasi data digunakan untuk melihat respon pada lapisan polimer, sehingga dapat diketahui lapisan polimer yang memiliki respon tertinggi dan respon terendah. Berdasarkan normalisasi data terhadap perubahan suhu PVP memiliki respon lebih tinggi dibandingkan PVA, seperti terlihat pada Gambar 4.15.

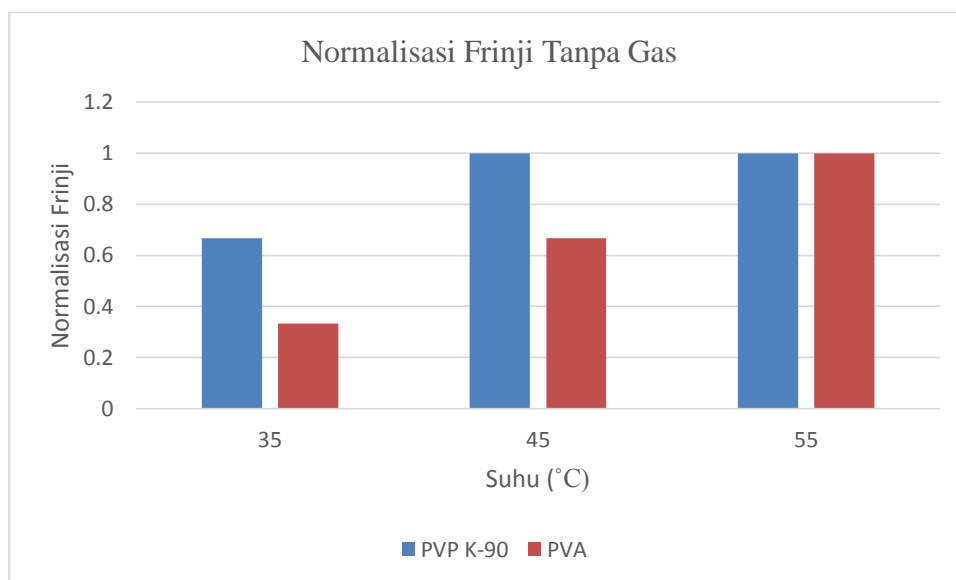


(a)



(b)

Gambar 4.14 Hasil Pengukuran Pergeseran Fase pada Variasi Suhu Tanpa Gas (a). Menggunakan *Software* (b). Secara Manual.

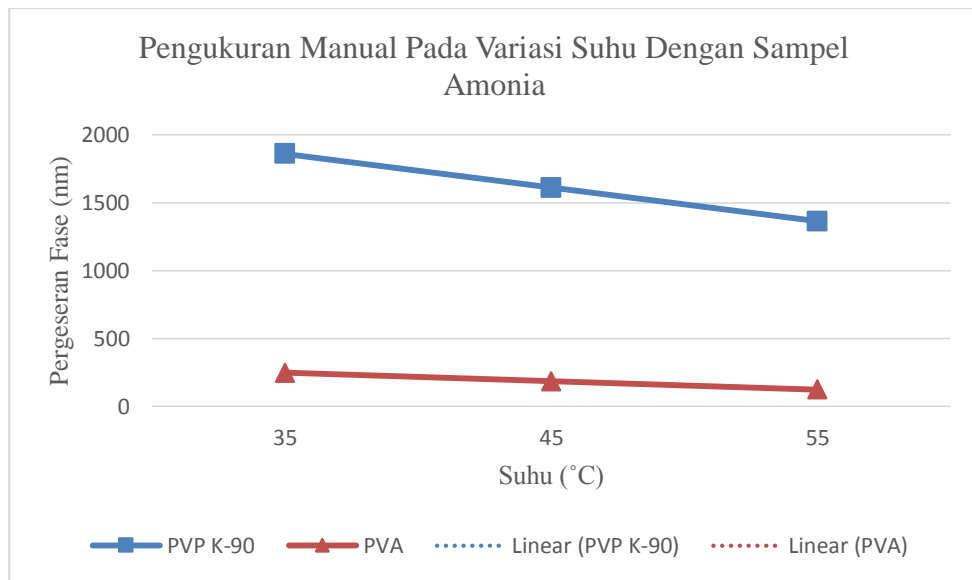


Gambar 4.15 Normalisasi Rata-rata Pergeseran Frinji Terhadap Perubahan Suhu Tanpa Gas.

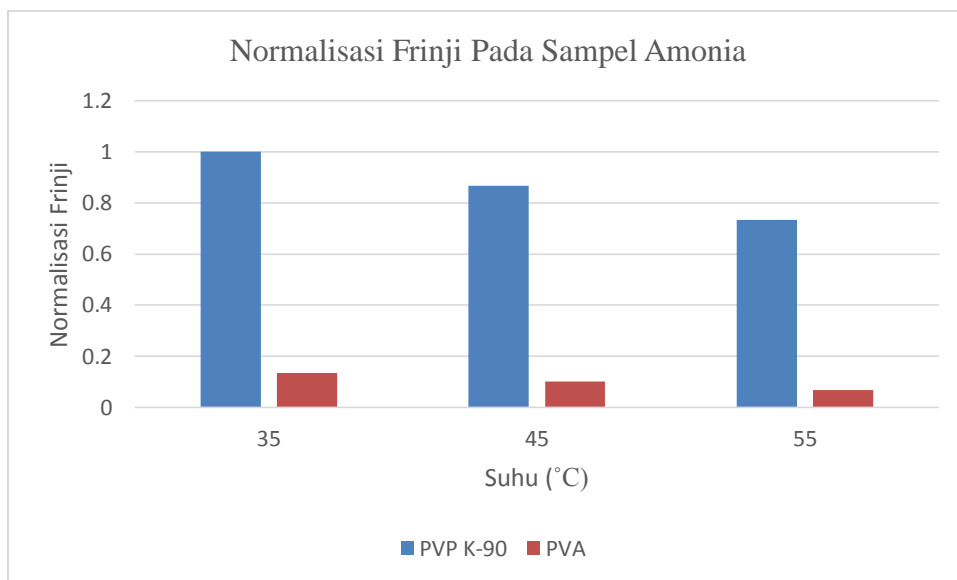
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.14, perbandingan pengukuran pergeseran fase menggunakan *software* memiliki *error* lebih besar, karena saat pengukuran terjadi interferensi dari luar sehingga menyebabkan *error* pada saat pembacaan pola interferensi. Pada Gambar 4.15 data normalisasi yang digunakan adalah data pengukuran secara manual yang memiliki *error* yang kecil.

4.6.3.2 Hasil Pengujian Variasi Suhu Pada Sampel Amonia

Pengujian pada amonia dengan suhu 35°C, 45°C dan 55°C menunjukkan PVP K-90 memiliki respon yang tinggi terhadap pergeseran fase dibandingkan PVA, seperti terlihat pada Gambar 4.16. pengukuran dilakukan dengan menggunakan *software* dan tanpa *software* (manual), untuk hasil pengukuran dengan *software* dapat dilihat pada lampiran. Hasil normalisasi rata-rata amonia terhadap perubahan menunjukkan PVP memiliki respon lebih tinggi dari PVA, seperti terlihat pada Gambar 4.17. Untuk melihat respon perubahan suhu terhadap pergeseran fase pada gas alkohol dan bensin dapat dilihat pada lampiran 1A.



Gambar 4.16 Respon Pergeseran Fase Terhadap Perubahan Suhu Pada Sampel Amonia.



Gambar 4.17 Normalisasi Rata-rata Pergeseran Frinji Terhadap Perubahan Suhu Pada Amonia.

4.7 Pengujian Perbandingan Sensitivitas Masing-masing Polimer Terhadap Perubahan Konsentrasi Gas

4.7.1 Tujuan

Proses pengujian dilakukan bertujuan untuk membandingkan nilai sensitivitas masing-masing konsentrasi gas terhadap polimer dan pengaruh nilai sensitivitas terhadap perubahan suhu.

4.7.2 Proses Pengujian

Pada proses pengujian, nilai konsentrasi yang digunakan berbeda-beda dan bergantung jenis gas yang digunakan, karena dipengaruhi perbedaan masa molar dan densitas larutan. Setiap jenis gas memberikan respon yang berbeda terhadap polimer bergantung nilai konsentrasi yang ada didalam chamber.

Proses pengujian dilakukan dengan menyuntikkan sampel gas dengan menggunakan mikroliter dan nilai konsentasi dikonversi kedalam satuan ppm, kemudian di ukur pergeseran fase yang terjadi. Setelah nilai pergeseran didapatkan, maka nilai sensitivitas dapat ditentukan dengan membagi nilai pergeseran dengan nilai konsentrasi sampel gas.

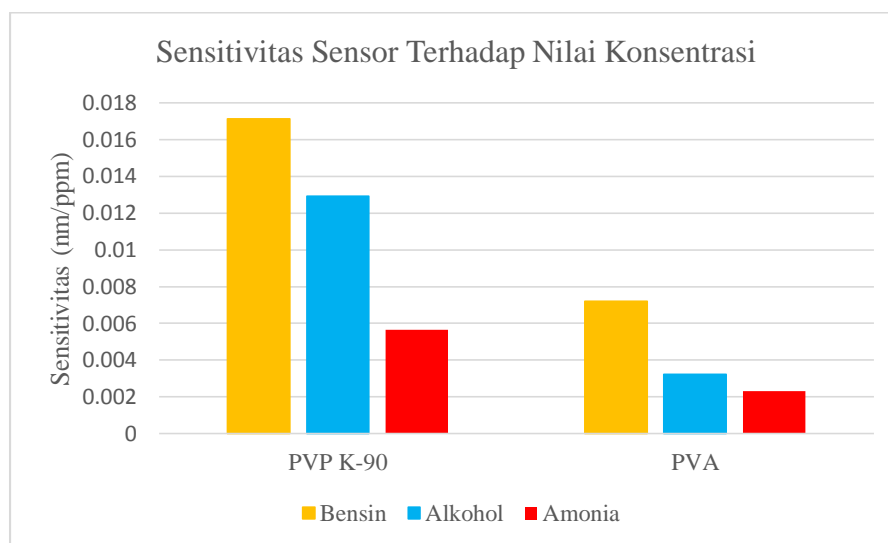
4.7.3 Hasil Pengujian

4.7.3.1 Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan gas amonia lebih memiliki respon yang tinggi terhadap polimer dan pergeseran fase, namun respon itu terjadi pada daerah konsentrasi tinggi dari alkohol dan bensin, karena amonia memiliki masa jenis dan densitas lebih kecil sehingga tiap mikroliter cairan menghasilkan nilai konsentrasi yang semakin besar dibandingkan dengan alkohol dan bensin, dan bensin menghasilkan konsentrasi yang kecil dan respon dan pergeseran fase yang kecil dibandingkan amonia dan alkohol, karena bensin memiliki masa molar dan densitas yang besar dari kedua sampel yang lain.

Sampel amonia memiliki masa molar 17,031 g/mol dan densitas 0,73 kg/m³, sampel bensin memiliki masa molar sebesar 78,1121 g/mol dengan nilai densitas sebesar 0,8786 kg/m³ dan untuk sampel alkohol memiliki masa molar sebesar 46,06844 g/mol dengan nilai densitas sebesar 0,789 kg/m³. Masing-masing cairan

dengan nilai yang sama yaitu 11 μL pada suatu chamber dengan volume 16mL akan menghasilkan konsentrasi 172.161 ppm pada bensin, 287.879 ppm pada alkohol dan 671.191 ppm pada amonia.



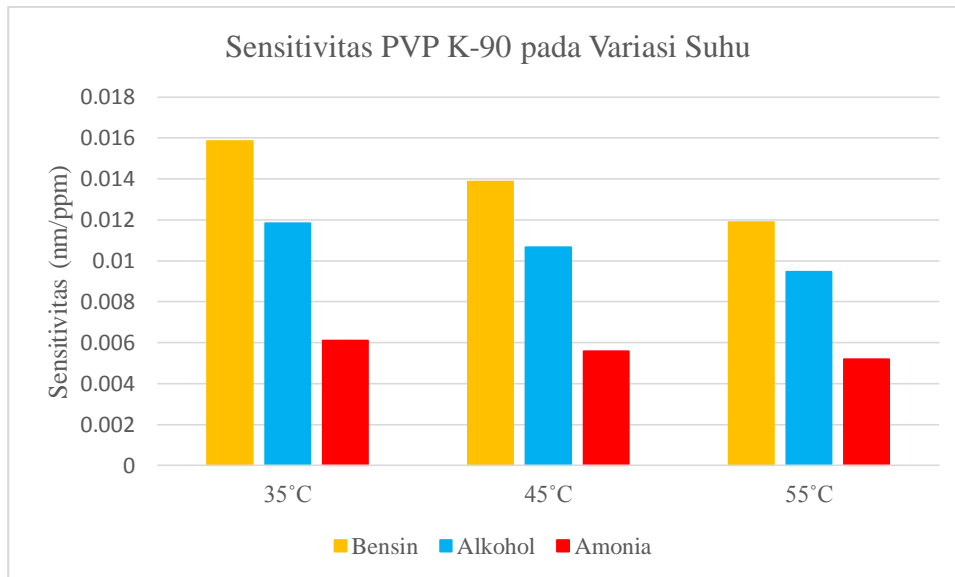
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Sensitivitas Sensor Pada Masing-Masing Sampel Gas.

Pada proses pengujian dan perhitungan sensitivitas sensor memperlihatkan sampel gas bensin lebih sensitif dari gas yang lain pada polimer PVP K-90 dengan nilai sensitivitas sebesar 0,017111889 nm/ppm dan amonia memiliki respon sensitivitas terendah dengan nilai 0,005658598 nm/ppm, seperti diagram yang terlihat pada Gambar 4.18.

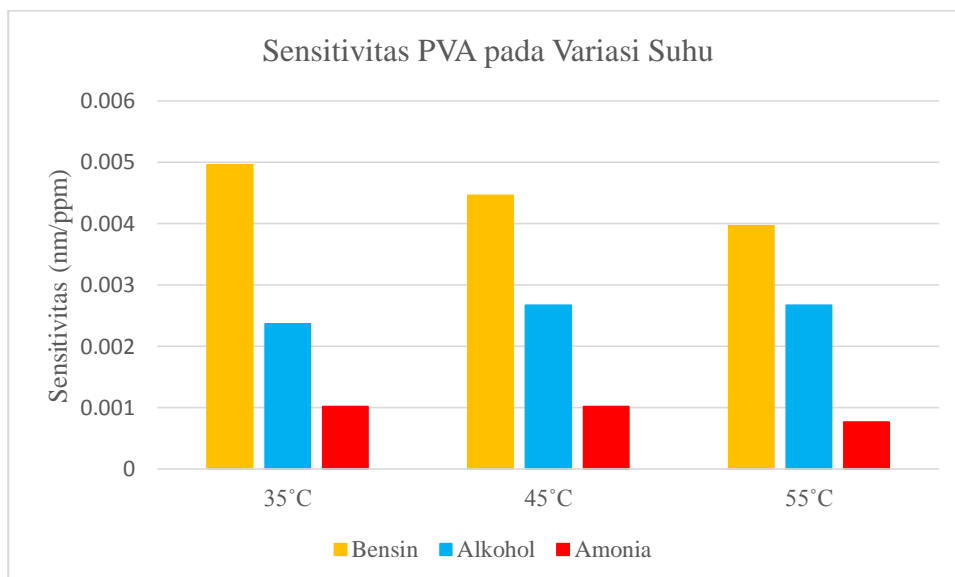
4.7.3.2 Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor Terhadap Suhu

Pada hasil pengujian sensitivitas sensor terhadap perubahan suhu pada polimer PVP K-90 memperlihatkan sampel gas jenis bensin memiliki sensitivitas tertinggi dibandingkan alkohol dan amonia, namun nilai sensitivitas mulai mengalami penurunan pada kenaikan suhu 45°C dan semakin turun pada suhu 55°C. Untuk bensin mengalami penurunan sensitivitas dari 0,01584633 nm/ppm pada suhu 35°C menjadi 0.011884225 pada suhu 55°C. Nilai sensitivitas juga menurun pada sampel gas alkohol dan amonia pada kenaikan suhu 45°C dan 55°C.

Pada polimer PVA juga memeperlihatkan sampel gas bensin memiliki sensitivitas tertinggi dibandingkan alkohol dan amonia dan juga mengalami penurunan nilai sensitivitas pada kenaikan suhu 35°C, 45°C dan 55°C. Adapun diagram hasil pengujian sensitivitas sensor terhadap perubahan suhu diperlihatkan pada Gambar 4.19.



(a)



(b)

Gambar 4.19 Diagram Hasil Pengujian Sensitivitas Sensor terhadap Perubahan Suhu (a). Pada Polimer PVP K-90 (b). Pada Polimer PVA.

4.8 Perhitungan Regresi Linier untuk Mengukur Konsentrasi Gas

4.8.1 Tujuan Perhitungan Regresi Linier

Tujuan dari perhitungan dan pemrograman regresi linier untuk mengukur konsentrasi gas ini adalah dapat menentukan nilai konsentrasi gas sebagai fungsi dari dari pergeseran fase berdasarkan hasil data pengujian perhitungan pergeseran fase terhadap perubahan konsentrasi.

4.8.2 Prosedur Perhitungan Regresi Linier

Untuk mendapatkan nilai konstanta dan koefisien regresi, yaitu dengan mengumpulkan seluruh data hasil pengukuran pergeseran fase terhadap perubahan konsentrasi, kemudian dihitung menggunakan Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 maka nilai a dan b pada persamaan regresi linier serta nilai koefisien determinasi dapat ditentukan. Setelah nilai a dan b didapatkan, maka persamaan regresi dimasukkan kedalam *software* untuk menentukan konsentrasi gas. Data yang digunakan pada regresi adalah data hasil pengukuran secara manual yang memiliki error yang sangat kecil.

4.8.3 Hasil dan Analisa

Berdasarkan hasil perhitungan, sampel gas bensin dengan menggunakan polimer PVP K-90 mempunyai nilai determinasi yang tertinggi yaitu 0.9321 dan sampel gas amonia dengan polimer PVA mempunyai nilai koefisien determinasi terendah dengan nilai 0.6283, seperti terlihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Regresi Linier Konsentrasi Gas Sebagai Fungsi Pergeseran Fase.

Polimer	Jenis Gas	Regresi linier	R^2
PVP K-90	Amonia	$y = -246949,997 + 278,77x$	0,93
	Alkohol	$y = -22562,34 + 90,55x$	0,95
	Bensin	$y = 13180,18 + 43,43x$	0,98
PVA	Amonia	$y = 113456,61 + 495,99x$	0,96
	Alkohol	$y = -54873,65 + 408,49x$	0,87
	Bensin	$y = 46953 + 90,15x$	0,32

4.9 Pengujian dan Kalibrasi Konsentrasi Gas

4.9.1 Tujuan pengujian

Pengujian pengukuran konsentrasi dan kalibrasi konsentrasi gas bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan nilai *exact* berdasarkan perhitungan nilai konsentrasi pada Persamaan 2.7, hingga didapatkan nilai persentase *error* dari hasil pengukuran tersebut.

4.9.2 Prosedur pengujian

Pengujian dilakukan dengan menyuntikkan cairan sampel gas pada chamber, jenis polimer yang diujikan adalah PVP K-90. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk satu jenis gas pada konsentrasi yang sama, kemudian pengukuran dan pengambilan data dilakukan.

4.9.3 Hasil Pengujian dan Analisa Data

Berdasarkan hasil pengujian untuk jenis gas amonia dengan konsentrasi 305.087 ppm, alkohol dengan konsentrasi 130.854 ppm, dan bensin dengan konsentrasi 78.225 ppm, terlihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Konsentrasi.

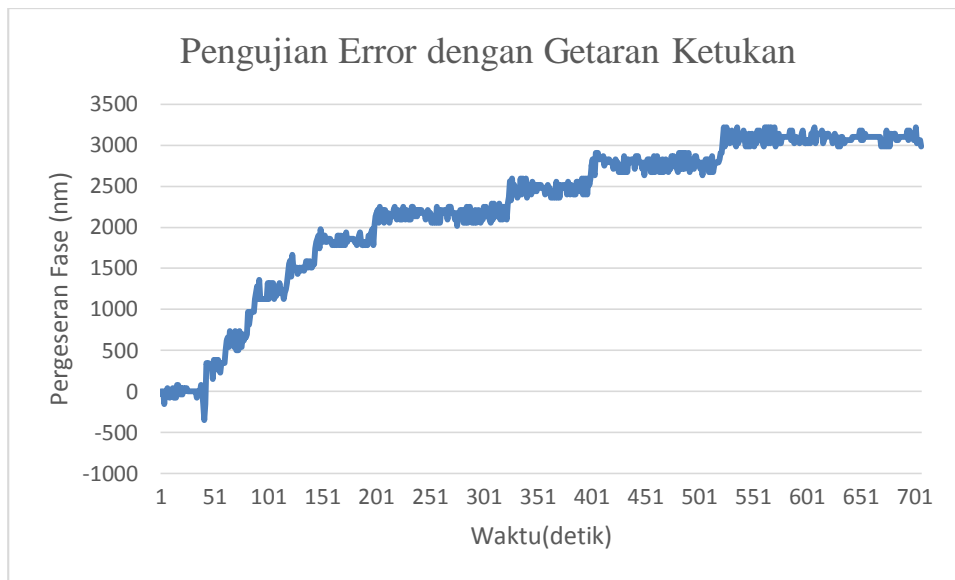
Jenis Gas	Konsentrasi (ppm)	Konsentrasi Terukur (ppm)	Pergeseran Fase (nm)	Error (%)
Amonia	305.087	646.515	3205	111%
		1.226.919	5287	302%
		1.127.954	4932	269 %
		615.013	3092	101%
		818.238	3821	168%
		2.615.205	10267	757%
		2.135.995	8548	600%
		402.589	2330	31%
		1.113.458	4880	264%
Alkohol	130.854	587.323	6735	348%
		274.457	3280	109%
		451.944	5240	245%
		390.548	4562	198%
		745.341	8480	469%
		658.408	7520	403%

		899.646	10184	587%
		369.177	4326	182%
		459.279	5321	250%
		600.091	6876	358%
Bensin	78.255	374.571	8320	378%
		136.756	2845	74%
		93.971	1860	20%
		201.173	4328	157%
		161.776	3421	106%
		329.831	7290	321%
		306.376	6750	291%
		502.491	11265	542%
		190.574	4084	143%
		257.293	5620	228%

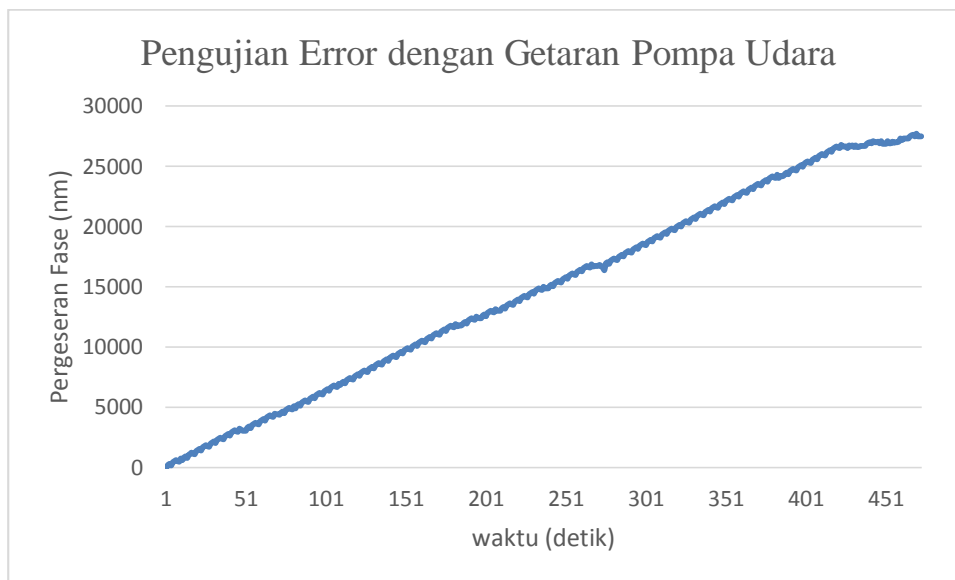
Setelah dilakukan 10 kali pengujian pada jenis sampel gas amonia pada konsentrasi 305.087 ppm, didapatkan hasil pengukuran dengan *error* terkecil sebesar 101% dan *error* terbesar 757%, pada sampel gas alkohol dengan konsentrasi 130.854 dilakukan percobaan pengukuran sebanyak 10 kali, maka didapatkan hasil pengukuran dengan *error* terkecil sebesar 108% dan *error* terbesar sebesar 587%. Sedangkan untuk sampel gas bensin dengan konsentrasi 78.255 ppm didapatkan hasil dengan *error* terkecil sebesar 20% dan *error* terbesar 542%. Besarnya *error* disebabkan kesalahan pada program saat membaca pola ketika terjadi interfensi dari luar, sehingga *error* dihitung sebagai pergeseran.

4.10 Pengujian Error

Pengujian *error* dilakukan untuk mengamati kesalahan perhitungan oleh *software* ketika interferometer diberi gangguan. Gangguan yang diberikan berupa getaran pada ketukan meja dan getaran pada pompa udara yang diletakkan disamping interferometer. Adapun grafik hasil pengujian *error* diperlihatkan pada Gambar 4.20.



(a)



(b)

Gambar 4.20 Grafik Hasil Pengujian Error (a). Pengujian dengan Getaran Ketukan (b). Pengujian dengan Getaran Pompa

Berdasarkan hasil analisa pengukuran *error* dengan getaran ketukan, tiap ketukan memberikan *error* sebesar 1 siklus pergeseran atau 310 nm. Jika diberikan ketukan sebanyak 10 kali, maka total pergeseran bertambah menjadi 3100 nm seperti terlihat pada Gambar 4.20.a. Untuk pengujian dengan menggunakan pompa

udara, saat pompa dinyalakan program mulai menghitung pergeseran dan nilai pergeseran fase terus bertambah hingga mencapai 27000 nm, seperti terlihat pada Gambar 4.20.b. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan persentase kesalahan saat pengukuran konsentrasi sering kali di akibatkan oleh interfensi dari luar sehingga hasil pengukuran dan nilai *error* menjadi lebih besar.

4.11 Keterbatasan Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa keterbatasan yang mempengaruhi kegagalan dalam proses pengukuran konsentrasi gas. Adapun keterbatasan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh getaran dari luar menyebabkan *error* saat proses pengukuran, sehingga pergeseran yang terhitung oleh *software* menjadi lebih besar. Pada penelitian ini nilai *error* yang besar disebabkan oleh getaran pompa udara dan getaran mekanik dari aktivitas yang ada didalam ruangan, karena setiap gangguan dan getaran yang terjadi, *software* membaca sebagai penjumlahan pergeseran fase.
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi pola interferensi tidak muncul saat pengukuran adalah pada struktur polimer yang mengalami perubahan ketebalan dan bentuk serta berubah warna akibat sering terkena gas, serta perubahan bentuk permukaan pada polimer mengakibatkan pola interferensi tidak terlihat. Proses perubahan struktur pada polimer itu dinamakan degradasi. Proses ini terjadi akibat hidrolisis dari ikatan yang menghubungkan rantai polimer, yang pada gilirannya menyebabkan penurunan masa molekul dari polimer.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem pada penelitian dengan judul “PENENTUAN TINGKAT KONSENTRASI GAS MENGGUNAKAN METODE INTERFEROMETRI OPTIK”, penulis dapat memberikan kesimpulan serta saran yang akan berguna bagi pengembangan penelitian ini.

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dihasilkan interferometer sebagai pengukur konsentrasi gas dengan menggunakan jenis polimer PVP K-90 dan PVA. Dengan variasi suhu 35°C, 45°C, dan 55°C untuk membandingkan tingkat sensor ketika berinteraksi dengan gas, selain itu pengujian dilakukan untuk menentukan pergeseran fase pada pola frinji yang akan digunakan untuk menentukan nilai konsentrasi gas.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel gas amonia, alkohol dan bensin. Berdasarkan polimer yang digunakan, polimer PVP K-90 menunjukkan sensitivitas tertinggi berdasarkan nilai normalisasi yang selalu memberikan respon yang tinggi. Pada proses pengujian pengukuran konsentrasi, nilai *error* yang didapatkan hingga mencapai 20% dengan sampel bensin pada konsentrasi 93971 ppm dan *error* terbesar sebesar 757% dengan sampel amonia pada konsentasi 2.615.205 ppm.

5.2 Saran

Pada saat pengukuran menggunakan interferometer sensor diharapkan kondisi ruangan tenang dan tidak ada getaran serta tidak terganggu oleh intensitas cahaya dari luar, karena tingkat sensitifitas interferometer yang tinggi mengakibatkan banyak terjadinya *noise*. Selain itu pada penelitian selanjutnya diharapkan interferometer diberi peredam getaran agar hasil pengukuran lebih presisi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

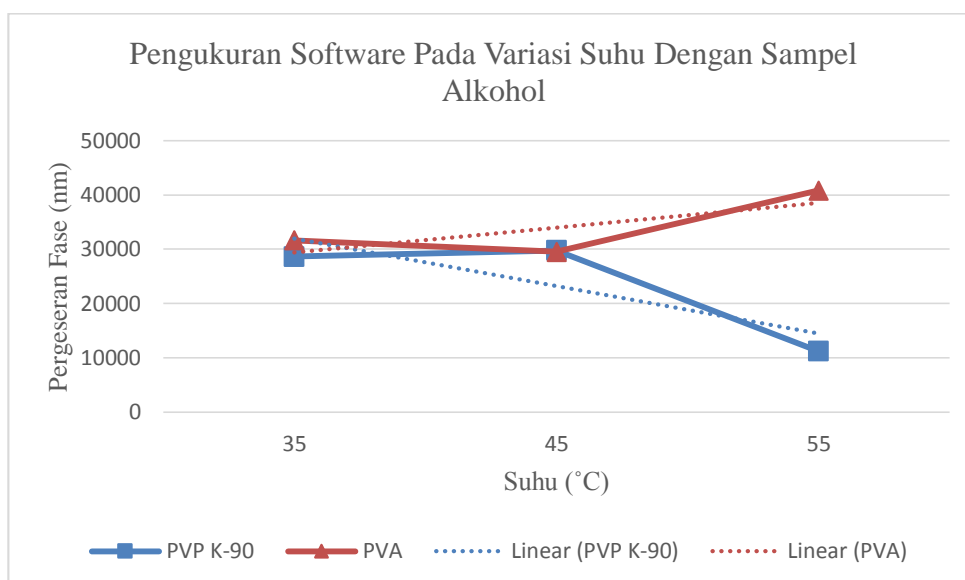
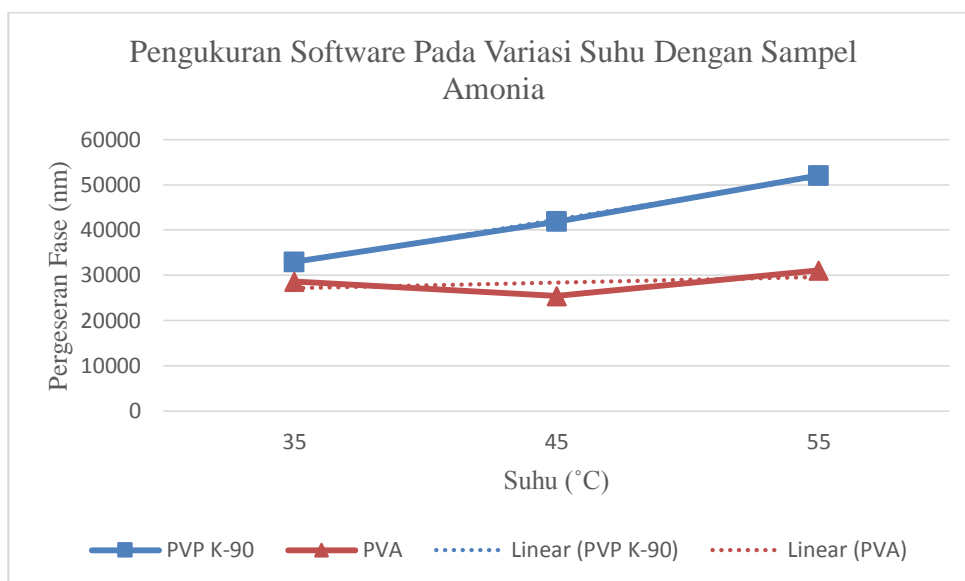
DAFTAR PUSTAKA

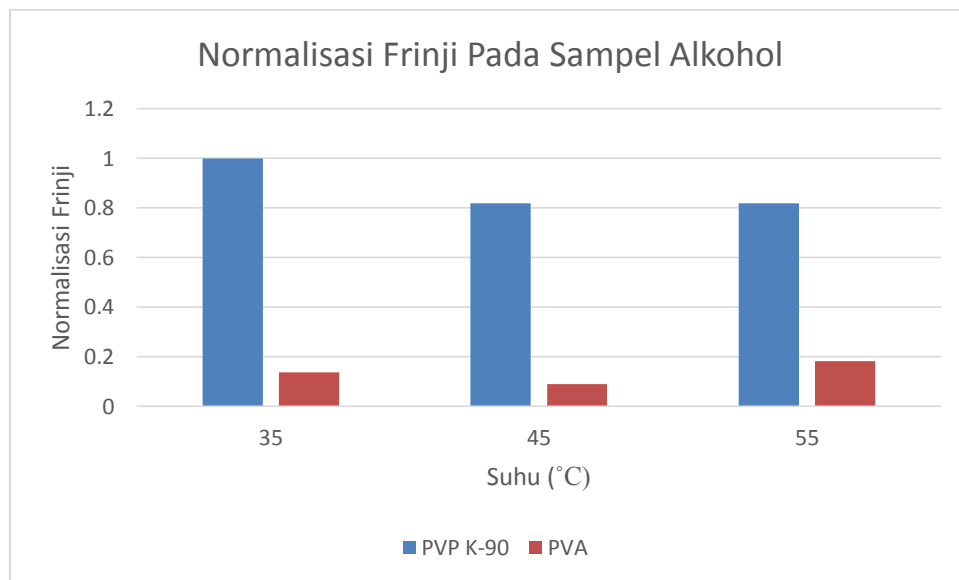
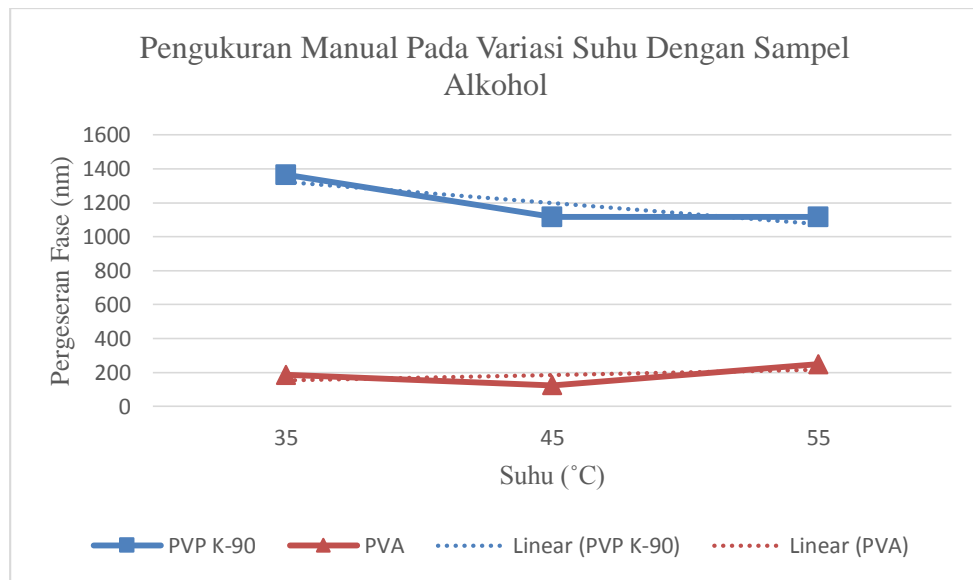
- Abbasian, K. dan Abdollahi, M. H. (2013), “Electromagnetically Induced Transparency-based Gas Detector Design Using Michelson Interferometer”, *Journal of International Nano Letters* 3:34, hal. 1-7.
- Ahmad, U, (2005), *Pengolahan Citra digital*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Al-Azzawi, A, (2006), *Physical Optics*, Taylor & Francis Group, LLC, New York.
- Apsari, R., Trisnaningsih., Salamah, U. (2008), “Pemanfaatan Sensor CCD dan Interferometer Michelson Untuk Menentukan Koefisien Difusi Larutan Trasparan”, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 4 no. 1, hal. 1-5.
- Changwen, D., Jiao, W., Zijun, Z., Yazhen, S., Jianmin, Z. (2015), “In Situ Measurement of Ammonia Concentration in Soil Headspace Using Fourier Transform Mid-Infrared Photoacoustic Spectroscopy”, *PEDOSPHERE* 25(4), hal. 605-612.
- Fabricius, N., Gauglitz, G., Ingenhoff, J. (1992), “A Gas Sensor Based on an Integrated Optical Mach-Zehnder Interferometer”, *Sensors and Actuators B 7 : Chemical*, hal. 672-676.
- Febriani dan Lussiana, E. T. P. (2008), “Analisis Penelusuran Tepi Citra Menggunakan Detektor Tepi Sobel dan Canny”, *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2008)*, Universitas Gunadarma, Jakarta, hal. 462-466.
- Gelais, R. S., Mackey, G., Saunders, J., Zhou, J., Hotte, A. L., Poulin, A., Barnes, J. A., Looock, H. P., Brown, R. S., Peter, Y. A. (2013), “Gas Sensing using Polymer-Functionalized Deformable Fabry-Perot Interferometers”, *Sensors and Actuators B 182 : Chemical*, hal. 45-52.
- Hall, J. L., Petropavlovskikh, S., Nilsen, O., Hacıoglu, B. (2005), “Detection and Discrimination of Low Concentration Gas Contaminants by means of Interferometrically-Sensed Polymers”, *Proc. IEEE Sensors 2005*, hal. 1366-1369.

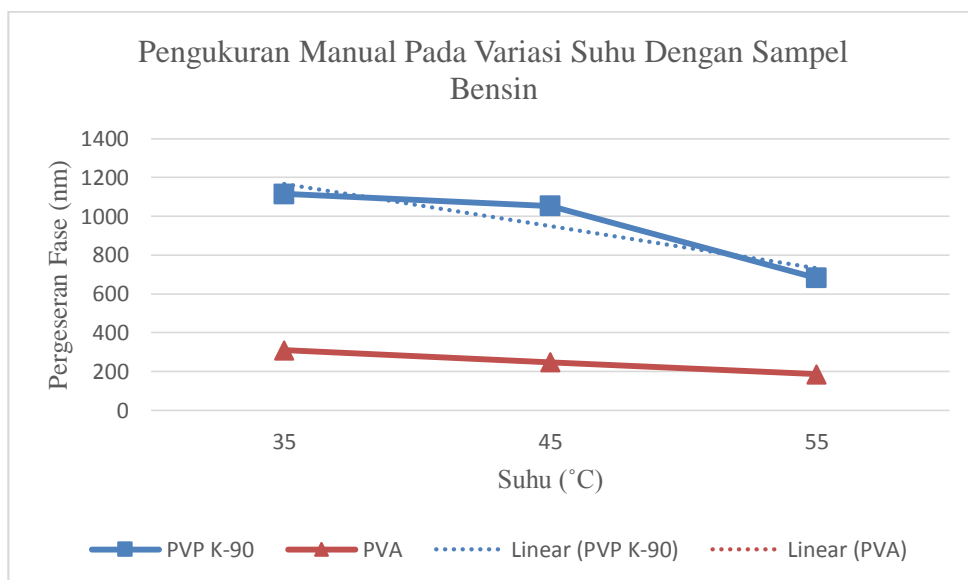
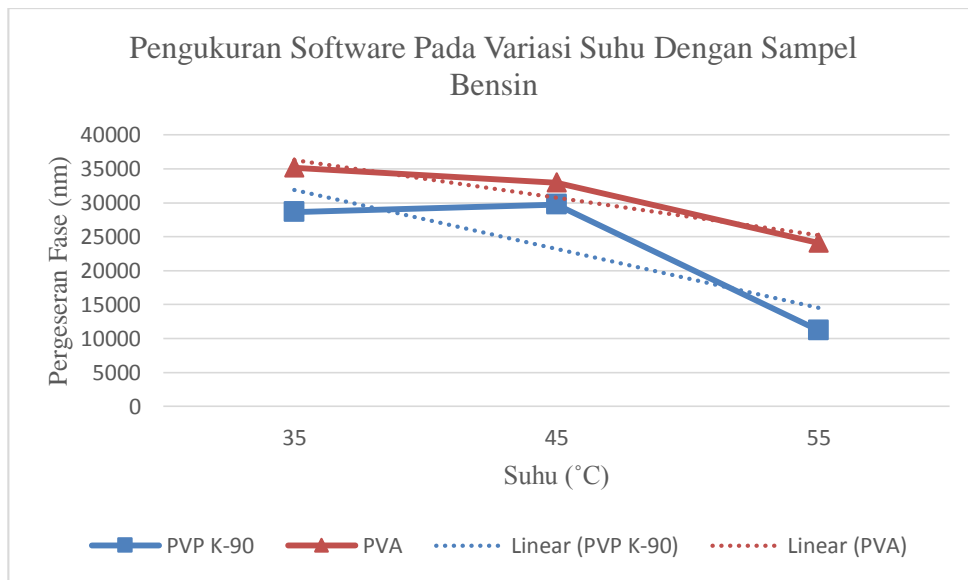
- Halliday, D dan Resnick, R, (1999), *Physics* (terjemahan Pantur Silaban dan Erwin Sucipto), Jilid 2, Edisi 3, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hipatl, C. M., Aguirre, S. M., Perez, G. B., Mixcoatl, J. C., De la Rosa, J. R. (2010), "Detection of Volatile organic Compounds by an interferometric Sensor", *Sensor and Actuators B 147: Chemical*, hal. 37-42.
- Kachiraju, S. R., Don, A., Gregory. (2012), "Determining the Refraction Index of Liquids Using a Modified Michelson Interferometer", *Optics & Laser Technology 44*, hal. 2361-2365.
- Leidner, L., Ewald, M., Sieger, M., Mizaikoff, B., Gauglitz, G. (2013), "Migrating the Mach-Zehnder Chemical and Bio-Sensor to the Mid-Infrared Region", *Proc. of SPIE*, Vol. 8774, hal. 1-15.
- Liu, C., Zhang, J., Zhou, Z., Hua, Z., Wan, H., Xie, Y., Wang, Z., Deng, L. (2013), "Analysis of Volatile Coumpounds and Identification of Characteristic Aroma Components of Toona Sinensis (A. Juss.) Roem. Using GC-MS and GC-O", *Scientific Research: Food and Nutrition Sciences*, hal. 305-314.
- Maranda, B., Cousineau, J., Allard, P., Lambert, M. (2007), "False Positives in Plasma Ammonia Measurement and their Clinical Impact in a Pediatric Population", *Clinical Biochemistry 40*, hal. 531-535.
- Mulyadi dan Rivai, M. (2011), "Karakteristik Sensor Gas Berbasis Devais Surface Acoustic Wave Terlapis Polimer", Seminar Nasional Pascasarjana XI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, hal. 1-4.
- Noro, M., Suzuki, K., Kishi, N., Hara, H., Watanabe, T., Iwaoka, H. (2003), "CO₂/H₂O Gas Sensor using a Tunable Fabry-Perot Filter with Wide Wavelength range", *Proc. of Optical MEMS 2003*, hal. 319-322.
- Pedrotti, F. L. And Pedrotti, L. S. (1987), *Introduction To Optics*, Prentice-Hall, Inc, Eaglewood Cliffs, New Jersey.
- Prokop-Prigge, K. A., Thaler, E., Wysocki, C. J., Preti, G. (2014), "Identification of Volatile Organic Compounds in Human cerumen", *Journal of Chromatography B*, Vol. 953-954, hal. 48-52.

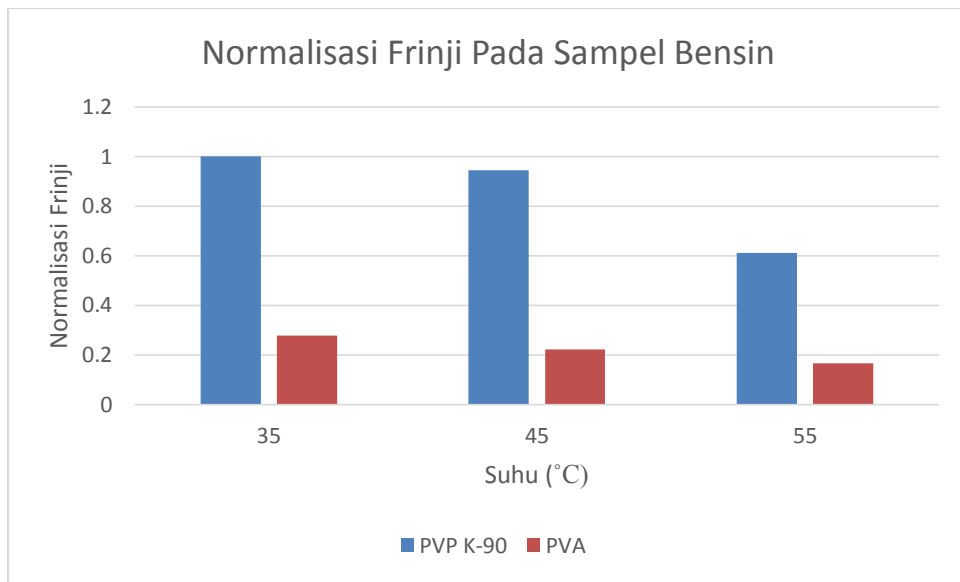
- Richard, R., Lokollo., Lityloly, S. J. (2014), “Pengukuran Perubahan Indeks Bias Gas Alam Cair (Butana) Dengan Interferometer Michelson”, Seminar Nasional Basic Science VIF-MIPA, Universitas Pattimura, Ambon, hal. 87-94.
- Rivai, M. (2015), “*Optoelectronic Devices*”, Handout, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Simon, E., Purnawan, F., Puspasari, S. (2014), *Penerapan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik dan Transformasi Hough untuk Deteksi Lokasi Mata pada Citra Digital*, Project Teknik Informatika, STMIK GI MDP, Palembang.
- Spelman, J., Skrien, S., Parker, T. E. (2002), “Design Methodology for a Fabry-Perot Interferometer used as a Concentration Sensor”, *APPLIED OPTICS*, Vol. 41, No. 15, hal. 2847-2857.
- Widodo, S. (2014), “Teknologi Proses Pembuatan Divais Sensor Gas NO₂ dengan Lapisan Aktif In₂O₃”, *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, Vol. 10, No. 1, hal. 69-86.
- Yao, B., Wu, Y., Cheng, Y., Zhang, A., Gong, Y., Rao, Y. J., Wang, Z., Chen, Y. (2014), “All-Optical Mach-Zehnder Interferometric NH₃ Gas Sensor based on graphene/Microfiber Hybrid Waveguide”, *Sensors and Actuators B 194: Chemical*, hal. 142-148.

Lampiran









Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Marzuarman dilahirkan di Riau, 12 Maret 1990. Merupakan anak kedua dari empat bersaudara pasangan Bapak Sjafruddin dan Ibu Rostini. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 045 Bangkinang pada tahun 1996-2002, kemudian melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Bangkinang pada tahun 2002-2005. Selanjutnya penulis melanjutkan di Sekolah Menengah Kejuruan Negeri 1 Bangkinang pada tahun 2005-2008. Setelah itu penulis menempuh pendidikan tinggi pada Program Sarjana di Universitas Riau pada tahun 2008 dan menyelesaikan pendidikan pada tahun 2012. Setelah menyelesaikan pendidikan tahap sarjana, penulis mendapat beasiswa untuk menempuh pendidikan di Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan bidang keahlian Teknik Elektronika pada tahun 2014.

e-mail : marzuarman2011@yahoo.com